



**Universidade de Aveiro** Departamento de Ambiente e Ordenamento  
2018

**Gabriela Almeida  
Pedro**

**Gestão de águas pluviais no Campus Universitário  
de Santiago**





**Gabriela Almeida  
Pedro**

**Gestão de águas pluviais no Campus Universitário  
de Santiago**

Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor José de Jesus Figueiredo da Silva, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.





## **o júri**

Presidente

Prof. Doutora Ana Paula Duarte Gomes  
Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento

Vogal

Prof. Doutor José Jesus Figueiredo da Silva  
Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento

Arguente

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil



## **agradecimentos**

Aos meus pais por todo o apoio constante ao longo de todo o meu percurso académico.

Ao meu irmão, por ser o meu parceiro desde sempre e o meu melhor amigo para sempre.

Ao João, pelo companheirismo e motivação para ambicionar e a sonhar sempre mais, pelas palavras carinhosas quando mais precisava e por toda a força transmitida.

À minha madrinha, que sempre me ajudou a transformar os meus sonhos em realidade.

À minha tia Marlene, por ter sido uma conselheira e uma amiga quando eu mais precisava.

Aos meus tios, Paulo e José Paulo por terem estado presentes e sempre disponíveis para me ajudar.

Aos meus primos: Pedro, Matilde e Rodrigo, por terem crescido comigo e serem como irmãos para mim.

Aos meus avós, por todas as palavras e conhecimentos passados com sabedoria.

Às minhas amigas: Leila, Daniela, Jéssica, Catarina e Ana Isabel por terem sido a minha segunda família em Aveiro, as minhas companheiras nesta aventura, sem vocês tudo seria menos divertido.

Ao Professor José Figueiredo, o apoio e orientação que me deu ao longo deste ano e que teve uma contribuição decisiva neste trabalho.

Aos Serviços Técnicos da Universidade de Aveiro, à Doutora Diana, à Engenheira Manuela e ao Sr. Nuno que contribuíram e me ajudaram neste projeto.

A todos, muito obrigada!



## palavras-chave

sistemas de drenagem de águas pluviais, aproveitamento de águas pluviais, SWMM, SUDS.

## resumo

O crescimento das áreas impermeáveis, a diminuição da disponibilidade da água e o aumento da sua degradação, levam a que seja vantajoso desenvolver propostas de gestão das águas provenientes da chuva facilitando a sua utilização e reduzindo as inundações.

Este projeto tem como caso de estudo o Campus Universitário de Santiago (Universidade de Aveiro), localizado na cidade de Aveiro e tem como objetivo a criação de um modelo de gestão de águas pluviais usando um *sotware* – *Storm Water Management Model* (SWMM). Com este modelo foram feitas várias simulações: simulação para um evento de precipitação intensa, simulação para um ano médio, um ano seco e um ano chuvoso. A simulação do evento de precipitação intensa teve como objetivo perceber se as condutas da rede de águas pluviais do caso de estudo têm capacidade para evitar situações de alagamento. Nas restantes simulações o objetivo foi perceber se a lagoa existente no Campus teria a capacidade suficiente para armazenar água para a rega dos espaços verdes da Universidade. Dos resultados destas simulações foi possível concluir que existem alguns pontos e condutas que não têm capacidade de resposta para o evento de precipitação intensa, e que a lagoa existente tem capacidade para regar uma parte da área verde, mas não tem água suficiente para regar a totalidade de área permeável existente no Campus durante os meses em que é necessário regar. Adicionalmente foram realizadas análises para entender se era possível reutilizar a água existente na lagoa sem tratamento, tendo estas análises revelado a existência de poluição fecal.

Finalmente, são apresentadas algumas soluções de forma a incrementar a reutilização da água da chuva para rega. Essas soluções têm como base a utilização de três lagoas localizadas no Campus. Além disto também é proposto um tratamento por radiação UV à lagoa infetada por contaminação fecal de forma a desinfetá-la. O aumento do diâmetro das condutas para que estas possam ter capacidade para suportar eventos de precipitação intensa também é uma das propostas apresentadas.



**keywords**

stormwater drainage systems, reuse of rainwater, SWMM, SUDS.

**abstract**

With the growth of impermeable areas, decreasing of water availability and increasing of its degradation, it is advantageous to develop proposals for stormwater management, facilitating its use and reducing flooding.

This project has as case study the University Campus of Santiago (Aveiro University), located in the Aveiro city and the aim of this is the creation of a stormwater management model using a *Storm Water Management Model* (SWMM). In this model several simulations were performed: simulation for an intense precipitation event, simulation for a medium year, a dry year and a rainy year. The simulation of the intense precipitation event had as objective to verify if in the stormwater pipe belonging to stormwater network of the study case have the capacity to avoid flooding situations. In the remaining simulations the objective was to understand if the existing pond in the Campus have sufficient capacity to store water for irrigation of the green spaces of the University. From the results of these simulations it was possible to conclude that there are some points and stormwater pipes that don't have a response capacity to the event of intense precipitation, and the existing pond has the capacity to irrigate a part of the green area, but doesn't have enough water to irrigate the whole permeable area on the campus during the months when it is necessary to irrigate. In addition, analyzes were carried out to understand if it was possible to reuse the existing water in the pond without treatment and these analyzes revealed the existence of fecal pollution.

Finally, some solutions are presented in order to increase the reuse of rainwater for irrigation. These solutions are based on the use of tree ponds located on Campus. In addition, a treatment by UV radiation is also proposed to the pond infected by fecal contamination in order to disinfect it. The increase in the diameter of the conduits so that they can be able to withstand intense precipitation events is also one of the proposals presented.





## ÍNDICE

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento do tema .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Organização do Projeto .....	3
<b>ESTADO ATUAL DOS CONHECIMENTOS.....</b>	<b>5</b>
2.1. Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS).....	5
2.1.1. Bacias de retenção .....	6
2.1.2. Trincheiras de infiltração .....	8
2.1.3. Telhados verdes.....	10
2.1.4. Pavimentos permeáveis.....	12
2.1.5. Valas com cobertura vegetal (“swales”).....	14
2.1.6. Poços de infiltração.....	16
2.1.7. Jardim em cova.....	17
2.2. Constituintes de uma rede de águas pluviais .....	19
2.3. Conceito de Aproveitamento de Águas Pluviais (AAP) .....	20
2.3.1. Importância do Aproveitamento de Águas Pluviais (AAP) .....	21
2.3.2. Qualidade das águas pluviais .....	22
2.3.3. Usos compatíveis com o AAP.....	22
2.3.4. Vantagens e desvantagens do AAP .....	23
2.4. Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) .....	24
2.4.1. Captação.....	25
2.4.2. Transporte.....	26
2.4.4. Tratamento.....	28
2.4.5. Distribuição .....	29
<b>METODOLOGIA E CASO DE ESTUDO.....</b>	<b>31</b>
3.1. Apresentação do SWMM .....	31
3.1.1. Opções de simulação.....	32
3.1.2. Propriedades dos objetos que constituem o sistema .....	37

3.1.2.1.	Nós.....	37
3.1.2.2.	Condutas.....	38
3.1.2.3.	Pontos de descarga.....	42
3.1.2.4.	Sub-bacias.....	43
3.1.2.5.	Unidades de armazenamento.....	49
3.1.2.6.	Orifícios.....	50
3.1.2.7.	Bombas.....	52
3.1.2.8.	Pluviómetro.....	55
3.1.3.	Dados de climatologia.....	56
3.2.	Apresentação e aplicação do SWMM ao Campus de Santiago.....	56
3.2.1.	Apresentação do caso de estudo.....	57
3.2.2.	Preparação de dados em ArcGis.....	63
3.2.3.	Aplicação do SWMM ao Campus de Santiago.....	66
3.3.	Saídas de campo.....	78
3.4.	Trabalho laboratorial.....	79
3.4.1.	1ª parte do trabalho laboratorial.....	79
3.4.2.	2ª parte do trabalho laboratorial.....	79
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>		<b>83</b>
4.1.	Resultados das observações dos componentes da rede.....	83
4.1.1.	Identificação das bacias ligadas às saídas para o meio recetor.....	83
4.1.2.	Correções do layout do SGTL.....	85
4.1.3.	Correções de diâmetros.....	87
4.1.4.	Alturas das caixas de visita.....	87
4.1.5.	Pontos com contaminação de águas residuais.....	88
4.1.6.	Levantamento fotográfico.....	89
4.2.	Resultados relativos às simulações SWMM.....	90
4.2.1.	Simulação de em evento de precipitação intensa.....	91
4.2.2.	Simulação para o ano médio, seco e chuvoso.....	95
4.3.	Resultados das análises laboratoriais.....	107
4.3.1.	1ª parte.....	107
4.3.2.	2º parte.....	108

4.4.	Análise da situação atual do Campus de Santiago .....	113
4.5.	Análise de rega .....	113
4.5.1.	Situação de rega para a área total permeável do Campus .....	115
4.5.2.	Situação da área verde regada pelo furo.....	117
4.6.	Análise de uma proposta de armazenamento para rega.....	120
4.6.1.	Tratamento da lagoa 1 .....	129
<b>CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO .....</b>		<b>131</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>135</b>
<b>ANEXO I - Propriedades das sub-bacias.....</b>		<b>i</b>
<b>ANEXO II - Propriedades das caixas de visita, orifícios e pontos de descarga .....</b>		<b>iii</b>
<b>ANEXO III - Propriedades dos coletores, orifícios e bombas .....</b>		<b>v</b>
<b>ANEXO IV – Qualidade das águas destinadas a rega: Decreto-lei nº236/98.....</b>		<b>vii</b>
<b>ANEXO V – Número do Culvert code.....</b>		<b>viii</b>
<b>ANEXO VI – Ficha da normal climatológica de Aveiro .....</b>		<b>ix</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da taxa de impermeabilização e do ciclo hidrológico, consoante a urbanização (Vale, 2011). .....	2
Figura 2 - Cadeia de gestão na drenagem sustentável (Lourenço, 2009). .....	6
Figura 3 - (A): Planta de uma bacia de retenção; (B): Secção transversal de uma bacia de retenção (Lourenço, 2009). .....	6
Figura 4 - Exemplos de bacias de retenção (xpdrainage, 2016). .....	7
Figura 5 - (A): Secção de um trincheira de infiltração (Lourenço, 2009); (B) Exemplo de uma trincheira de infiltração (xpdrainage, 2016). .....	9
Figura 6 - Exemplo de uma cobertura verde num edifício (WebReforma, 2016). .....	10
Figura 7 - Camadas que constituem uma cobertura verde (Lourenço, 2009). .....	11
Figura 8 - Esquema que representa os tipos de coberturas verdes existentes (Lourenço, 2009). .....	11
Figura 9 - (A): Secção transversal de um pavimento permeável (Téchne, 2012); (B): Exemplo de um pavimento permeável (xpdrainage, 2016). .....	13
Figura 10 - (A): Secção transversal de uma vala de infiltração; (B) Secção de uma vala de retenção (Vale, 2011); (C): Exemplo de uma vala de infiltração; (D): Exemplo de uma vala de retenção (xpdrainage, 2016). .....	15
Figura 11 - (A): Esquema de entrada e saída de água num poço de infiltração (Lourenço, 2009); (B): Exemplo do um poço de infiltração (xpdrainage, 2016). .....	16
Figura 12 - (A): Secção de um sistema de biorretenção (Neponset River Watershed Association, 2018); (B): Exemplo de um sistema de biorretenção (xpdrainage, 2016). ....	18
Figura 13 - Esquema exemplificativo de um sistema separativo (A) e um sistema misto (B) (Chesapeake Quarterly - A Magazine from Maryland Sea Grant, 2016). .....	19
Figura 14 - (A): Exemplo de uma sargeta (Tubani - Prefabricados de betão, 2010); (B): Esquema de uma câmara de visita (Engineering Technology Series - Concrete & Masonry, 2015). .....	20
Figura 15 - Distribuição dos usos de água no setor urbano/doméstico (A) e distribuição dos consumos urbanos (B) (adaptado de Melo, 2012). .....	23
Figura 16 - Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) (Batista, 2008). .....	25
Figura 17 - Exemplo de superfícies para captação de águas pluviais (Fernandes, 2010). .....	26
Figura 18 - (A): Exemplo de uma caleira (Fórum da Casa, 2016); (B): Exemplo de um tubo de queda (CYPE Ingenieros, 2018). .....	27

Figura 19 - Exemplos de tipos de reservatórios de armazenamento de águas pluviais. (A): Reservatório de superfície (tanque); (B): Reservatório enterrado no solo (cisterna); (C): reservatório elevatório (Batista, 2014).....	28
Figura 20 - (A): SAAP por gravidade; (B): SAAP misto (Rino, 2011). ....	30
Figura 21 - Interface do SWMM para inserir os parâmetros relativos às opções gerais de simulação. ....	32
Figura 22 - Interface do SWMM relativo às datas de fim e de início da análise e do relatório. ....	34
Figura 23 - Interface do SWMM para inserir os parâmetros relativos aos passos tempo. ....	35
Figura 24 - Interface do SWMM para inserir as opções do modelo de onda dinâmica. ....	36
Figura 25 – Interface do SWMM para inserir os parâmetros das caixas de visita. ....	37
Figura 26 - Interface do SWMM para inserir os parâmetros dos coletores. ....	39
Figura 27 – Tipos de secção das condutas (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). ....	39
Figura 28 - Interface do SWMM para inserir os parâmetros dos pontos de descarga. ....	42
Figura 29 - Interface do SWMM para inserir os parâmetros das sub-bacias. ....	44
Figura 30 - Interface do SWMM para inserir os parâmetros relativos ao método de infiltração. ....	47
Figura 31 - Interface do SWMM para inserir os parâmetros das unidades de armazenamento.....	49
Figura 32 - Interface do SWMM para inserir os parâmetros dos orifícios. ....	51
Figura 33 - Interface do SWMM para inserir os parâmetros da bomba. ....	52
Figura 34 – Tipos da curva das bombas (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). ....	53
Figura 35 - Interface do SWMM relativo ao editor de curva da bomba. ....	54
Figura 36 - Interface do SWMM relativo ao editor de regras de controlo. ....	54
Figura 37 - Interface do SWMM para inserir os parâmetros do pluviómetro. ....	55
Figura 38 - Interface do SWMM para inserir os valores relativos à evaporação (à esquerda) e velocidade do vento (à direita). ....	56
Figura 39 – Campus Universitário de Santiago, Universidade de Aveiro.....	57
Figura 40 - Mapa do Campus Universitário de Santiago (Universidade de Aveiro, 2014). e a sua localização. ....	58
Figura 41 - Precipitação Media total e precipitação máxima diária em Aveiro, no período de 1971 e 2000 (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2010).....	59
Figura 42 – Fotografias tiradas dentro do Campus em meses de mais precipitação. ....	60
Figura 43 – Localização da lagoa de armazenamento de águas pluviais do Campus (Google, 2018).....	61
Figura 44 – Localização da lagoa de armazenamento de águas pluviais do Campus (Google, 2018).....	61

Figura 45 - Medidas LID que já foram aplicadas no Campus de Santiago. ....	62
Figura 46 – Campus Universitário de Santiago e a sua rede de drenagem de águas pluviais. .....	64
Figura 47 – Em cima: bacias correspondes a cada saída da rede; em baixo: sub-bacias correspondentes à rede de drenagem dos edifícios e arruamentos. ....	64
Figura 48 – Em cima: rede de coletores principal do Campus e em baixo: coletores de ligação das sub-bacias à rede principal. ....	65
Figura 49 – Mapa da rede de drenagem de águas pluviais final criado no ArcGis. ....	66
Figura 50 – Desenho da rede de águas pluviais do caso de estudo no SWMM. ....	67
Figura 51 – Tipo de projeção dos coletores circulares para o caso de estudo (AquaVeo, 2018). ....	70
Figura 52 – Valores de precipitação anuais entre 1971-2000 para Oliveira do Bairro (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, 2018). ....	75
Figura 53 - Curvas IDF relativas a Portugal Continental (Sousa, 2001). ....	77
Figura 54 - Histograma da série temporal usada (1hora).....	78
Figura 55 - Localização dos pontos principais de amostragem. ....	81
Figura 56 -Localização das 4 saídas do Sistema da rede de drenagem de águas pluviais da UA.....	84
Figura 57 – Saídas do Sistema de drenagem de águas pluviais do Campus de Santiago. .....	84
Figura 58 - Localização das correções feitas no layout fornecido pelos SGTU.....	85
Figura 59 – Conduta da CMA com ligação à rede de coletores da UA, já tapada. ....	86
Figura 60 – Esquema representativo da caixa de visita com duas saídas conforme o caudal: caudal elevado saída C e caudal baixo saída D. ....	86
Figura 61 – Localização da tampa de águas residuais que se encontrava ligada à rede de águas pluviais.....	89
Figura 62 – Levantamento fotográfico das condutas. ....	90
Figura 63 - Verificação da situação da caixa de visita com duas saídas: uma para caudal baixo (gráfico de cima) e outra para caudal elevado (gráfico de baixo).....	91
Figura 64 - Caixas de visita que sofreram alagamento durante a simulação de um evento de precipitação intensa. Linha azul: caudal de inundação; linha vermelha: altura do escoamento na caixa de visita. ....	93
Figura 65 – Escoamento das condutas relativas às saídas do sistema (em LPS) Vs capacidade das condutas relativas às saídas do sistema durante uma simulação de um evento com precipitação intensa. ....	94
Figura 66 – Comportamento do sistema para um evento de precipitação intenso ao longo do tempo.....	94
Figura 67 - Séries de precipitação para os anos de 1993 (médio), 1988 (ano seco) e 1997 (ano chuvoso). ....	96

Figura 68 - Comportamento da lagoa 1 ao longo de tempo para os anos de 1993 (médio), 1988 (ano seco) e 1997 (ano chuvoso).....	97
Figura 69 - Escoamento em LPS relativos a cada saída do sistema de águas pluviais da UA para o ano médio. Em que: saída 1 é a saída da lagoa 1; saída 2 é entrada na Rua da Pega; saída 3 é a saída coletor CMA e saída 4 é saída relativa à Fonte da Pega. ....	99
Figura 70 - Escoamento em LPS relativos a cada saída do sistema de águas pluviais da UA para o ano chuvoso. Em que: saída 1 é a saída da lagoa 1; saída 2 é entrada na Rua da Pega; saída 3 é a saída coletor CMA e saída 4 é saída relativa à Fonte da Pega. ...	102
Figura 71 - Escoamento em LPS relativos a cada saída do sistema de águas pluviais da UA para o ano seco. Em que: saída 1 é a saída da lagoa 1; saída 2 é entrada na Rua da Pega; saída 3 é a saída coletor CMA e saída 4 é saída relativa à Fonte da Pega. ....	105
Figura 72 - Concentrações de cloretos, SAR e nitratos nas saídas do sistema e entrada da lagoa 1 de fevereiro a março. ....	110
Figura 73 – Concentração de sódio, magnésio e cálcio nas saídas do sistema e entrada da lagoa 1 de fevereiro a março. ....	111
Figura 74 - Concentração de potássio nas saídas do sistema e entrada da lagoa 1 de fevereiro a março. ....	112
Figura 75 - Resultados relativos às análises microbiológicas da lagoa 1. ....	112
Figura 76 - Em cima: comportamento da bomba 1 no ano médio; em baixo: comportamento da lagoa 1 quando esta tem a ligação de uma bomba no ano médio em situação de rega de toda a área permeável do Campus. ....	116
Figura 77 - Comportamento da bomba 1 e da lagoa 1 num ano chuvoso Vs o comportamento da bomba 1 e da lagoa 1 num ano seco em situação de rega de toda a área permeável do Campus. ....	117
Figura 78 – Planta do Campus de Santiago com as zonas verdes que são regadas pelo poço (13.361 m <sup>2</sup> ). ....	118
Figura 79 - Em cima: comportamento da bomba 1 no ano médio; em baixo: comportamento da lagoa 1 quando esta tem a ligação de uma bomba no ano médio na situação da área que é regada pelo poço (13.361m <sup>2</sup> ). ....	119
Figura 80 - Comportamento da bomba 1 e da lagoa 1 num ano chuvoso Vs o comportamento da bomba 1 e da lagoa 1 num ano seco em situação da área que é regada pelo poço (13.361m <sup>2</sup> ). ....	120
Figura 81 – Representação esquemática da proposta.....	121
Figura 82 - Comportamento da bomba 1 e da lagoa 1 durante um ano médio.....	122
Figura 83 - Comportamento da bomba ETAR e da lagoa ETAR durante um ano médio. ....	123
Figura 84 - Comportamento da bomba 2 e da lagoa 2 durante um ano médio.....	124
Figura 85 - Comportamento de todas as bombas e lagoas num ano chuvoso. ....	126
Figura 86 - Comportamento de todas as bombas e lagoas num ano sec. ....	128



Figura 87 – Esquema representativo de um Sistema de tratamento por radiação UV (U.S. Environmental Protection Agency, 2011). .....	130
--	-----



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros importantes para a caracterização da qualidade das escorrências (adaptado de Vale, 2011). .....	22
Tabela 2 - Usos da água e os tratamentos que devem ter (adaptado de Melo, 2011). ....	29
Tabela 3 - Tipos de métodos de infiltração e a sua respetiva descrição (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). .....	33
Tabela 4 - Tipos de modelos de propagação e a sua respetiva descrição (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). .....	33
Tabela 5 - Coeficiente de <i>Manning</i> para condutas fechadas (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). .....	40
Tabela 6 - Coeficiente de Manning para condutas a céu aberto (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). .....	41
Tabela 7 - Coeficiente de perda de entrada da tubagem (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). .....	41
Tabela 8 - Coeficiente de <i>Manning</i> para escoamentos à superfície livre (adaptado de Yen 2001). .....	45
Tabela 9 - Valores de armazenamento em depressão nas áreas impermeáveis e permeáveis para diferentes superfícies (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). .....	45
Tabela 10 - Características de vários tipos de solo (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). .....	46
Tabela 11 - Grupos de solo hidrológico e a sua respetiva condutividade hidráulica saturada (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). .....	47
Tabela 12 - Classes hidrológicas do solo segundo o NRCS (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). .....	48
Tabela 13 - Dimensões das três lagoas existentes no Campus de Santiago. ....	62
Tabela 14 - Datas de início e fim da análise, data de início do relatório para cada simulação. ....	68
Tabela 15 - Curva da bomba para as diferente áreas de rega. ....	73
Tabela 16 - Condição de arranque e de paragem das bombas. ....	73
Tabela 17 - Dados de climatologia: Evaporação (mm/dia) e Velocidade do vento (Km/hora) (adaptado de Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2000). ....	74
Tabela 18 – Série de precipitação criada e a sua respetiva intensidade para 1 hora com intervalos de tempo de 10 minutos. ....	77
Tabela 19 – Condutas em que os diâmetros foram corrigidos. ....	87
Tabela 20 – Alturas das caixas de visita medidas em campo. ....	88
Tabela 21 – Quantidade de água que sai da saída 1 durante um ano médio. ....	100

Tabela 22 - Quantidade de água que sai da saída 2 durante um ano médio. ....	100
Tabela 23 - Quantidade de água que sai da saída 3 durante um ano médio. ....	100
Tabela 24 - Quantidade de água que sai da saída 4 durante um ano médio. ....	101
Tabela 25 - Quantidade de água que sai da saída 1 durante um ano chuvoso. ....	103
Tabela 26 - Quantidade de água que sai da saída 2 durante um ano chuvoso. ....	103
Tabela 27 - Quantidade de água que sai da saída 3 durante um ano chuvoso. ....	103
Tabela 28 - Quantidade de água que sai da saída 4 durante um ano chuvoso. ....	104
Tabela 29 - Quantidade de água que sai da saída 1 durante o ano seco. ....	106
Tabela 30 - Quantidade de água que sai da saída 2 durante o ano seco. ....	106
Tabela 31 - Quantidade de água que sai da saída 3 durante o ano seco. ....	106
Tabela 32 - Quantidade de água que sai da saída 4 durante o ano seco. ....	106
Tabela 33 – Resumo da água total desperdiçada para cada tipo de ano. ....	107
Tabela 34 – Resultados das análises da 1ª parte do trabalho laboratorial. ....	108
Tabela 35 - Resultados das análises da 2ª parte do trabalho laboratorial. ....	109
Tabela 36 - Curva para bomba 1, bomba 2 e bomba ETAR relacionada com a área máxima possível para regar os espaços verdes da UA (ano médio). ....	124
Tabela 37 - Área máxima que é possível ser regada com a água armazenada em cada lagoa (ano médio). ....	125
Tabela 38 - Curva para bomba 1, bomba 2 e bomba ETAR relacionada com a área máxima possível para regar os espaços verdes da UA (ano chuvoso). ....	126
Tabela 39 - Área máxima que é possível ser regada com a água armazenada em cada lagoa (ano chuvoso). ....	127
Tabela 40 - Curva para bomba 1, bomba 2 e bomba ETAR relacionada com a área máxima possível para regar os espaços verdes da UA (ano seco). ....	128
Tabela 41 - Área máxima que é possível ser regada com a água armazenada em cada lagoa (ano seco). ....	129

## ABREVIATURAS

---

<b>AAP</b>	Aproveitamento de Águas Pluviais
<b>ANQIP</b>	Associação Nacional para a Qualidade de Instalações Prediais
<b>APA</b>	Agência Portuguesa do Ambiente
<b>CBO</b>	Carência Bioquímica de Oxigénio
<b>CCCI</b>	Complexo das Ciências da Comunicação e Imagem
<b>CICFANO</b>	Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia
<b>CMA</b>	Câmara Municipal de Aveiro
<b>CQO</b>	Carência Química de Oxigénio
<b>DL</b>	Decreto Lei
<b>DR</b>	Decreto Regulamentar
<b>EPA</b>	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
<b>ETAR</b>	Estação de Tratamento de Águas Residuais
<b>IDF</b>	Curvas de Intensidade, Duração e Frequência de Portugal Continental
<b>LID</b>	Low Impact Development
<b>LPS</b>	Litros por Segundo
<b>NAP</b>	Bacias com Nível de Água Permanente
<b>NRCS</b>	Serviço de Conservação dos Recursos Naturais
<b>OD</b>	Oxigénio Dissolvido
<b>PNUEA</b>	Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água
<b>SAAP</b>	Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais
<b>SAR</b>	Relação de adsorção sódio
<b>SCS</b>	Soil Conservation Service
<b>SGTL</b>	Serviços de Gestão Técnica e Logística da Universidade de Aveiro
<b>SNIRH</b>	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos Português
<b>SSF</b>	Sólidos Suspensos Fixos
<b>SST</b>	Sólidos Suspensos Totais
<b>SSV</b>	Sólidos Suspensos Voláteis
<b>SUDS</b>	Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis
<b>SWMM</b>	Storm Water Management Model
<b>UA</b>	Universidade de Aveiro
<b>UV</b>	Ultra-violeta
<b>VMA</b>	Valor Máximo Admissível
<b>VMR</b>	Valor Máximo Recomendado
<b>WSUD</b>	Water Sensitive Urban Design



## INTRODUÇÃO

---

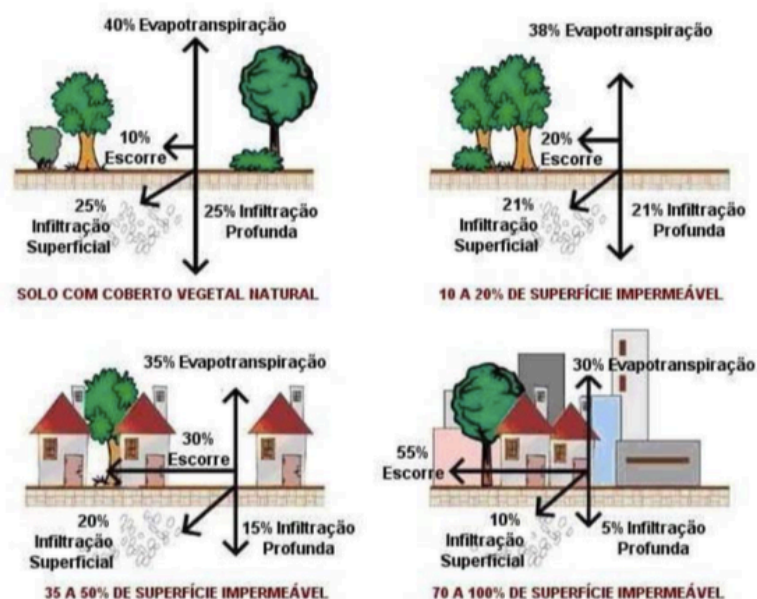
### 1.1. Enquadramento do tema

Atualmente, maior parte dos cidadãos europeus vivem em cidades (Agência Europeia do Ambiente, 2015), por causa disso a paisagem natural está a sofrer alterações significativas, pois para a construção de zonas urbanas é necessário a remoção das coberturas vegetais que alteram os caminhos e padrões preferenciais da água, exercem pressões espaciais sobre as bacias hidrográficas e afetam as escorrências pluviais urbanas (Melo, 2011).

As escorrências pluviais urbanas são um fator bastante importante para gestão de águas pluviais. Para se conseguir caracterizar os impactos das águas das escorrências é necessário ter em atenção os caudais de ponta e a carga dos poluentes (Vale, 2011). A quantidade da escorrência urbana é dependente de três variáveis: a impermeabilização do solo, a intensidade e duração da precipitação e a área da bacia de drenagem (Vale, 2011).

Portanto, com o aumento da impermeabilização dos solos devido à construção de estradas e o crescimento das zonas urbanas, faz com que a área de infiltração da precipitação seja diminuída. Com consequência disto, os caudais de ponta aumentam, originando inundações e transbordamentos das redes de drenagem de águas pluviais (Vale, 2011). Além de tudo isto, com o crescimento populacional, a procura de água aumentou, trazendo uma crise no sistema de abastecimento, mas também problemas a nível da sua qualidade (Melo, 2011).

A figura seguinte demonstra a evolução do ciclo hidrológico desde uma superfície natural até a uma superfície urbanizada. Através da figura percebe-se que, quanto maior a impermeabilização do solo, maior é o escoamento gerado (Vale, 2011).



**Figura 1** - Evolução da taxa de impermeabilização e do ciclo hidrológico, consoante a urbanização (Vale, 2011).

Deste modo, é essencial haver uma boa gestão de águas pluviais e é clara a necessidade de desenvolver soluções, medidas e políticas para as cidades se conseguirem adaptar de forma a atenuar os problemas que as escorrências urbanas podem trazer. Além disto, a crescente escassez de água, ajudou ao crescimento da implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para estas serem usadas de forma mais eficiente e consciente.

O presente projeto tem como caso de estudo o Campus Universitário de Santiago, que se localiza na Universidade de Aveiro, e o seu objetivo principal é o desenvolvimento de um modelo de gestão da rede de águas pluviais.

Neste seguimento, os objetivos mais específicos deste trabalho encontram-se no ponto seguinte.

## 1.2. Objetivos

Os objetivos específicos deste projeto passam por:

- Realizar um diagnóstico da rede existente no Campus Universitário de Santiago, caracterizando diâmetros, cumprimentos, declives das condutas, dimensão das caixas de receção e identificando as condições de saída das condutas;
- Analisar as alterações de caudal relacionadas com ligações de coletores à rede da Universidade de Aveiro (UA);
- Identificar as medidas de redução de caudal existentes ou que possam ser aplicadas;



- Usar a informação obtida para aplicar num modelo de simulação (*Storm Water Management Model* - SWMM) que permita o diagnóstico de pontos críticos;
- Avaliar o efeito de medidas alternativas de redução de impacto, incluindo o armazenamento e utilização de água pluvial;
- Contribuir para um plano de intervenção tendo por base o levantamento no terreno, em vídeo ou fotográfico, do estado atual de conservação do interior de todas as condutas nomeadamente no que respeita a roturas e abatimentos;
- Estudar a viabilidade técnica de implementação no Campus da UA, de um sistema de aproveitamento das águas pluviais.

### **1.3. Organização do Projeto**

O presente projeto está organizado em 5 capítulos e anexos. O capítulo 1 é um enquadramento do tema, bem como os objetivos deste projeto.

O capítulo 2, apresenta o estado atual dos conhecimentos, ou seja, as noções básicas sobre as águas pluviais (sua importância e características), sistemas de drenagem urbana e aproveitamento de águas pluviais e seus sistemas

O capítulo 3, refere-se à metodologia e caso de estudo, em que se definiu todos os parâmetros ligados ao *software* SWMM e também a aplicação específica ao caso em estudo.

Os resultados obtidos e discussão são apresentados no capítulo 4. Por último, o capítulo 5 trata uma conclusão geral.

No fim, este trabalho tem vários anexos relativos aos parâmetros inseridos no SWMM sobre a rede de águas pluviais do Campus, uma tabela relativa aos valores recomendados e máximos de qualidade da água destinadas à rega (decreto-lei nº236/98), uma tabela relativa aos números de *Culvert Code* do SWMM e, por fim a ficha climatológica de Aveiro.



## ESTADO ATUAL DOS CONHECIMENTOS

---

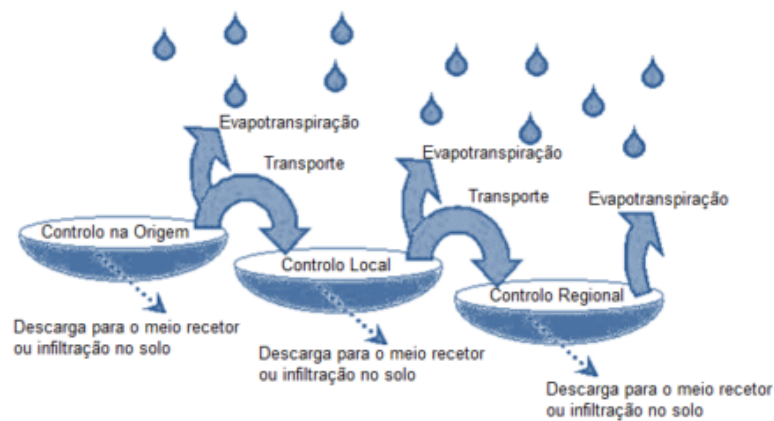
Neste capítulo irão ser abordados alguns dos conceitos pertinentes para a gestão de águas pluviais, que são: medidas sustentáveis que podem ser aplicadas nos sistemas de drenagem urbana, o aproveitamento de águas pluviais, bem como os constituintes de uma rede de drenagem de águas pluviais.

### 2.1. Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS)

No presente tópico estão apresentadas as melhores medidas de gestão da água ao nível das escorrências. Os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS) são uma das medidas para drenagem de águas pluviais. Estes sistemas são técnicas de controlo na origem, ou seja, são medidas normalmente estruturais (podem ser não estruturais, como o planeamento, sensibilização pública, regulamentos, entre outros) para o controlo e o tratamento de escorrências urbanas que reduzem os caudais de ponta e os volumes de águas pluviais que vêm do sistema de drenagem pluvial, contribuindo assim, para a diminuição do risco de inundação, e também para a redução poluentes no meio recetor (Lourengo, 2009).

Os SUDS são um dos conceitos usados no Mundo para representar este tipo de tecnologias. O Reino Unido, usa a sigla SUDS - *Sustainable Urban Drainage Systems*. Analogamente, é possível, em outras literaturas encontrar estas técnicas associadas a outro tipo de nome: LID – *Low Impact Development*, que é utilizado nos Estados Unidos da América, ou WSUD – *Water Sensitive Urban Design* aplicado na Austrália (Chang et al., 2018).

A gestão deste tipo de sistemas é feita da seguinte forma: existe um controlo na origem, que é um controlo nas mediações do local de origem das águas pluviais (por exemplo: pavimentos permeáveis, poços de infiltração, telhados verdes, etc.). Seguidamente, vai para um controlo local, que se trata de um controlo de uma área envolvendo vários lotes ou grandes parques de estacionamento. Por fim, o controlo regional é feito através das bacias de retenção – figura 2 (Vesuviano, 2014).

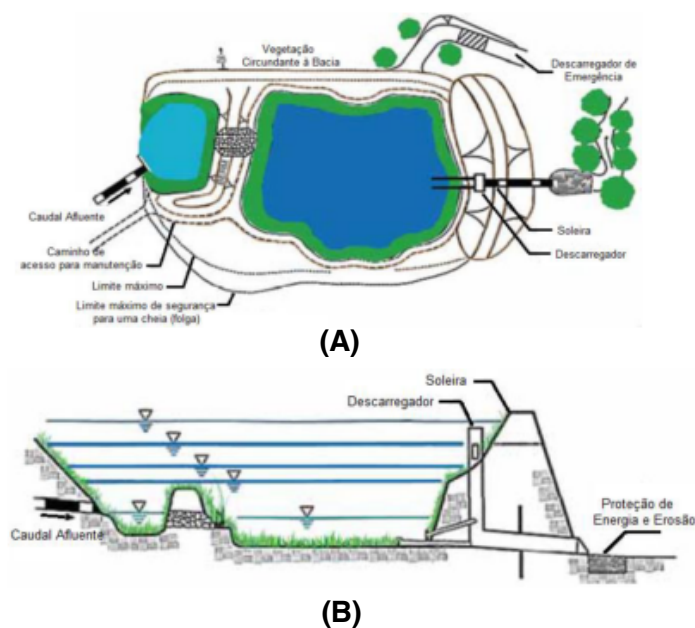


**Figura 2** - Cadeia de gestão na drenagem sustentável (Lourenço, 2009).

Neste sentido, nos próximos tópicos estão destacados alguns tipos estruturais da tecnologia SUDS.

### 2.1.1. Bacias de retenção

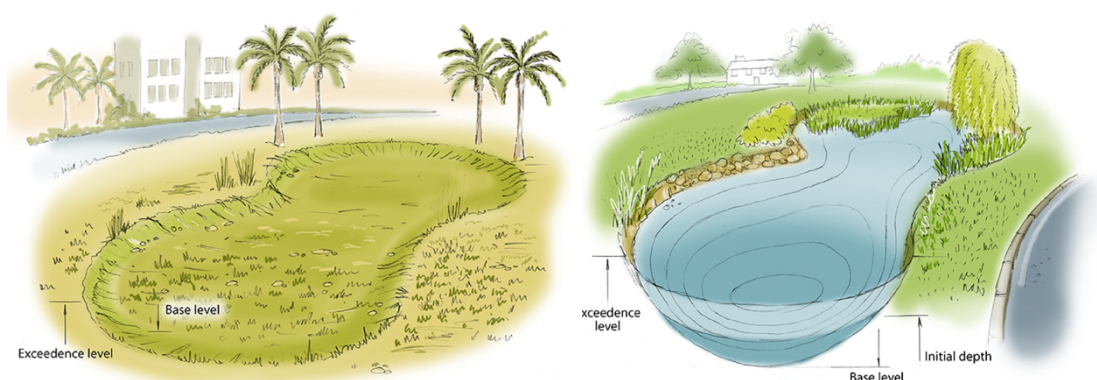
As bacias de retenção (figura 3) têm uma finalidade hidráulica e qualitativa. É hidráulica porque regula os caudais através do armazenamento, reduzindo os caudais de ponta para jusante que têm de ser compatíveis com o meio recetor. E é qualitativa, pois permite, através de um efeito de decantação, que a qualidade da água retida seja melhorada através de transformações físicas, químicas e microbiológicas que ocorrem no seu interior (Bichanção, 2006).



**Figura 3** - (A): Planta de uma bacia de retenção; (B): Secção transversal de uma bacia de retenção (Lourenço, 2009).

Existem principalmente dois tipos de bacias de retenção, designadamente: bacias de céu aberto e bacias enterradas – figura 4.

As bacias a céu aberto são, tal como o nome indica, reservatórios construídos ao ar livre. Este tipo de bacias está geralmente ligado a questões de paisagem e de áreas de lazer (Lourenço, 2009).



**Figura 4** - Exemplos de bacias de retenção (xpdrainage, 2016).

Relativamente às bacias enterradas, estas estão situadas em baixo do solo. São utilizadas quando não é possível recorrer a bacias de céu aberto, quer por falta de áreas ou por custos elevados associados. Os seus sistemas de esvaziamento são gravíticos ou de bombagem e estão dispostas em paralelo ou em série relativamente ao coletor de drenagem pluvial (Lourenço, 2009).

As bacias devem carecer de uma manutenção periódica, ou seja, deve-se recolher sólidos flutuantes, limpar os dispositivos (grelhas, desareadores, etc.) e o canal de fundo, deve-se também proceder a um controlo de águas pluviais regular, verificar as condições de estabilidade e de estanquidade das bermas, proteger e limpar as bermas de taludes e deve-se verificar e controlar a afluência de águas não pluviais à bacia (residuais ou industriais por exemplo) (Martins, 2012).

Sendo assim, as bacias de retenção têm várias vantagens e desvantagens:

#### Vantagens:

- Melhoria do sistema de drenagem e regulação dos caudais de ponta, pois permite a descarga de caudais muito inferiores ao que entram em regime de ponta, reduzindo o risco de inundação;
- Aumento da qualidade de água pluvial, pois consegue reduzir o teor de sólidos em suspensão e matéria orgânica;

- Criação de reservas de água que podem ser usadas para a agricultura, para situações de emergência (incêndios) ou para a limpeza de ruas e pavimentos;
- Custo inferior e uma construção mais rápida e simples relativamente ao aumento da rede de distribuição;
- Recarrega os aquíferos por infiltração (apenas quando a qualidade das águas pluviais é boa);
- Cria pontos de lazer turísticos e recreativos (desportos náuticos, pesca, etc.);
- Traz uma melhoria à paisagem (Martins, 2012).

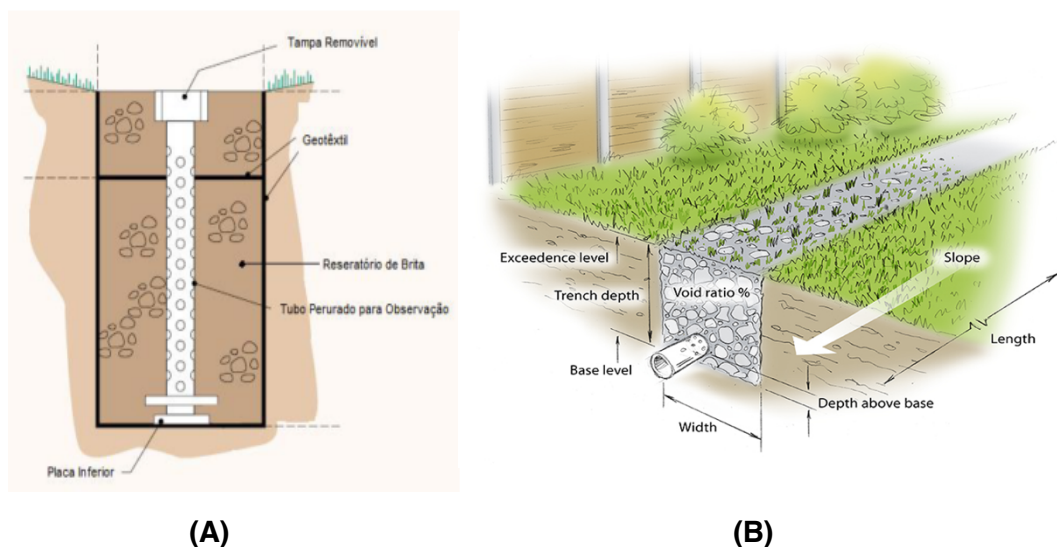
Desvantagens:

- Grande área de ocupação;
- Risco de proliferação de insetos e doenças;
- Risco de segurança (se as margens não tiverem proteção) (Lourenço, 2009).

### **2.1.2. Trincheiras de infiltração**

As trincheiras de infiltração servem para o minimizar as cheias, promover a recarga dos aquíferos e principalmente servem para o tratamento da água. Estas bacias funcionam como um reservatório convencional, porém têm um melhor desempenho, pois favorecem a infiltração da água no solo e assim reduzem os volumes escoados e as descargas máximas da cheia (Martins, 2012).

Estas estruturas são poucas profundas (inferiores a 1 metro), têm um desenvolvimento longitudinal e as águas pluviais são drenadas perpendicularmente ao seu desenvolvimento através da infiltração e transporte até um destino final (Vale, 2011). São constituídas por valetas ou cobertas com material poroso (cerca de 35%). Além disso, têm de ser longas e estreitas e as suas paredes precisam de ser revestidas por filtros geotêxteis (de forma a tentar evitar contaminações) (Martins, 2012). A figura 5 representa a secção de uma trincheira de infiltração e os componentes que a constituem.



**Figura 5 - (A):** Secção de um trincheira de infiltração (Lourenço, 2009); **(B)** Exemplo de uma trincheira de infiltração (xpdrainage, 2016).

Existem dois tipos de trincheiras de infiltração, estas podem ser: superficiais ou subterrâneas. As primeiras podem estar a céu aberto, cobertas com relva ou com um revestimento permeável (é possível que estas sejam construídas de maneira a que se tornem impercetíveis na urbanização) e são tipicamente construídas em zonas urbanas, pois a carga de sedimentos é pequena. As segundas podem receber escoamentos mais concentrados e por isso têm uma estrutura melhorada, de forma a reter os contaminantes (Martins, 2012).

Segundo Martins, 2012 as trincheiras de infiltração possuem várias vantagens e algumas desvantagens.

#### Principais vantagens:

- Redução das descargas de pico e dos escoamentos a jusante;
- Baixo custo, pois reduz a dimensão das tubagens do sistema de drenagem de águas pluviais a jusante e tem baixo custo de construção e manutenção;
- Reduz os riscos de inundação;
- Facilidade de construção;
- Boa interação com o meio urbano;
- Recarrega o aquífero (Martins, 2012).

#### Principais desvantagens:

- Possibilidade de colmatção do sistema;
- Necessidade de manutenção regular;
- Risco de contaminação do lençol subterrâneo se a água captada estiver contaminada.

### 2.1.3. Telhados verdes

As coberturas verdes são uma medida de controlo na origem para a gestão de águas pluviais em zonas urbanas. Conforme o tipo de vegetação que é utilizada, as coberturas verdes ajudam a reduzir e a melhorar a quantidade e qualidade das águas pluviais que são escoadas para os sistemas de drenagem urbana (Lourenço, 2009).

Tratam-se de vegetação com várias camadas em cima de edifícios (figura 6), sejam eles residenciais, públicos, industriais ou comerciais. A camada inferior serve para proteger o telhado, enquanto as camadas mais superficiais servem para substituir o substrato vegetal natural, onde permite a retenção da água da chuva, crescendo desta forma, plantas (Sousa, 2014).

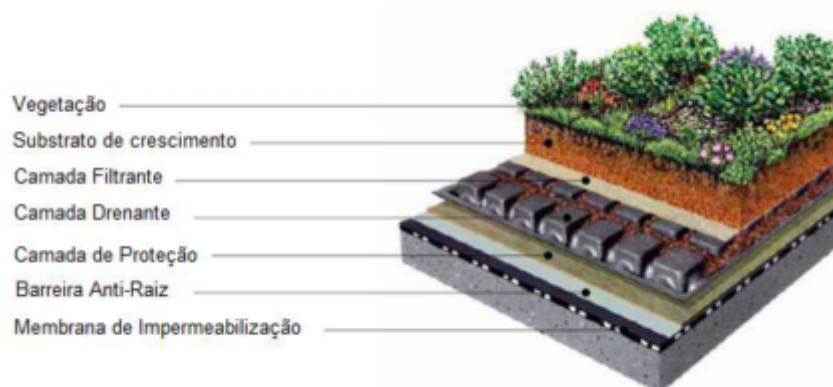


**Figura 6** - Exemplo de uma cobertura verde num edifício (WebReforma, 2016).

Em termos mais genéricos, a construção de telhados verdes baseia-se na adição das seguintes camadas (figura 7):

- Plantas;
- Substrato de crescimento para o suporte destas;
- Filtro geotêxtil, que retém os nutrientes e as partículas finas;
- Camada drenante, que serve para escoar o excesso de água oriunda da chuva e reter parte destas para serem utilizadas pelas plantas;
- Camada de proteção, para proteger o sistema de impermeabilização de perfurações;
- Sistema de impermeabilização que é colocado sobre a estrutura do edifício para que fique estancado;
- Barreira anti-raíz, que tal como o nome indica, serve para que as raízes das plantas não atravessem o sistema de impermeabilização;
- Estrutura de suporte compatível com o sistema da cobertura verde (Martins, 2010).

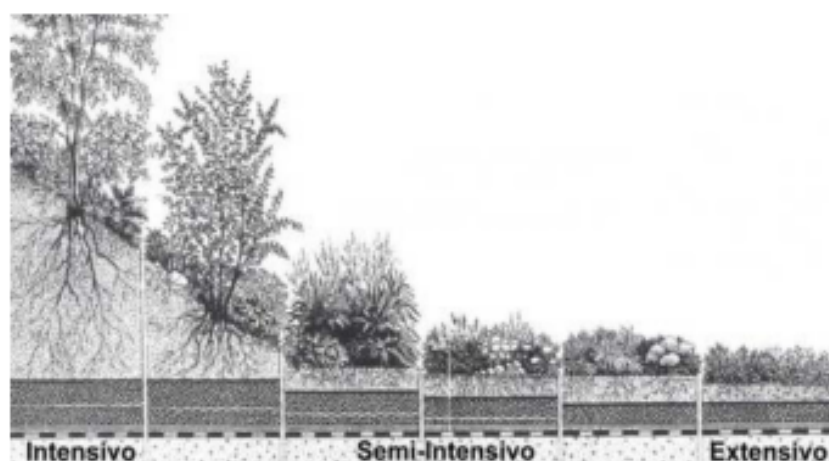




**Figura 7** - Camadas que constituem uma cobertura verde (Lourenço, 2009).

Dependendo da profundidade do meio de cultivo, da espécie de plantas utilizadas, das necessidades de manutenção, rega e da capacidade de retenção da estrutura, os telhados verdes podem ser de três tipos (figura 8):

- Intensivos – maior profundidade, desempenho, manutenção e custos;
- Semi-Intensivo – são coberturas que estão entre as coberturas intensivas e extensivas, logo têm valores intermédios a nível de profundidade, desempenho, manutenção e custos;
- Extensivos - são as mais usadas, e têm menos profundidade, desempenho, manutenção e custos (Martins, 2010).



**Figura 8** - Esquema que representa os tipos de coberturas verdes existentes (Lourenço, 2009).

Como em tudo, as coberturas verdes apresentam tanto vantagens como desvantagens. As vantagens são:

- Regulação da temperatura urbana;
- Melhora a qualidade do ar;
- Gere as águas pluviais;

- Aumenta o isolamento acústico;
- Aumenta a eficiência energética dos edifícios;
- Diminui o efeito estufa;
- Aumenta o espaço útil (Martins, 2010).

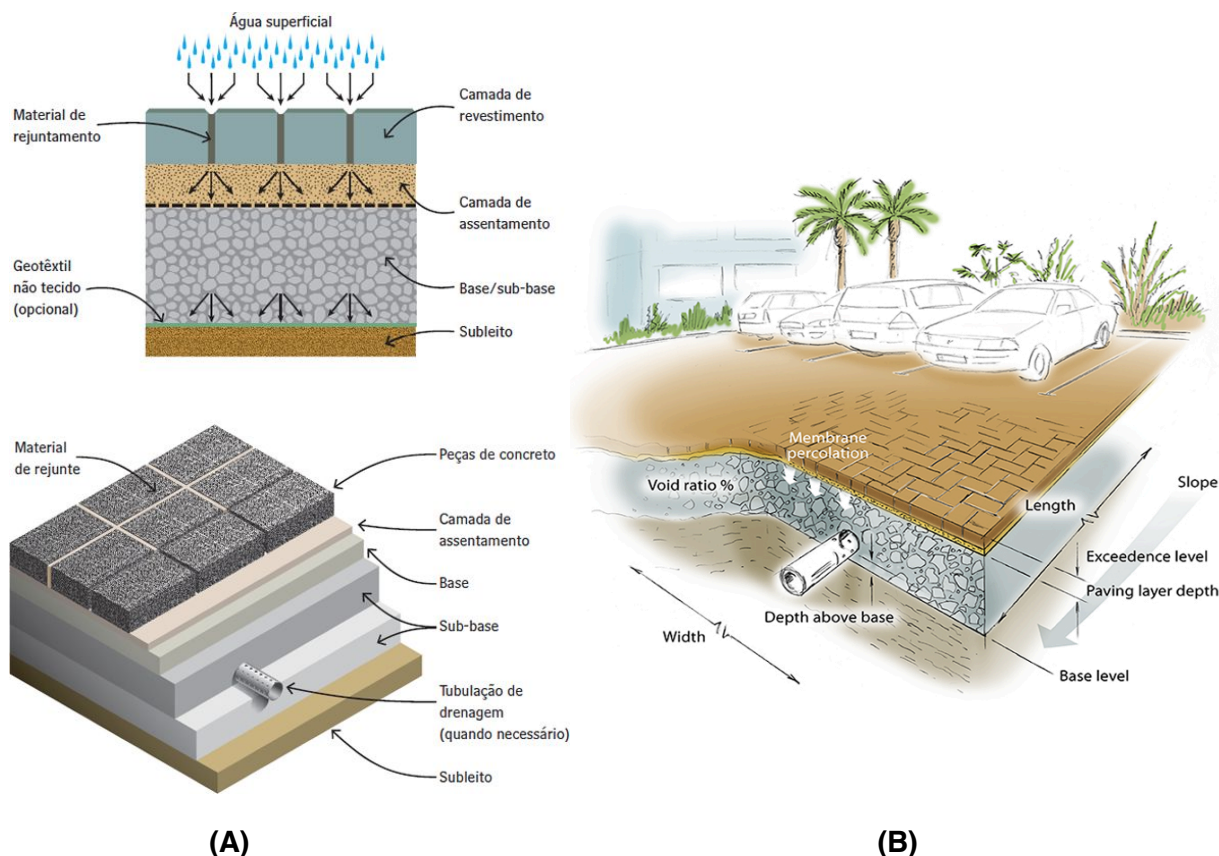
No que se refere às desvantagens, existem algumas, nomeadamente:

- Custos de manutenção elevados (coberturas intensivas);
- Acrescenta carga aos edifícios;
- Desconhecimento entre os utilizadores dos benefícios que os telhados verdes fornecem;
- Falta de mercado e de conhecimento para a conceção destas estruturas;
- Necessidade de mão-de-obra especializada;
- Falta de incentivos para a construção;
- Falta de normas técnicas (Martins, 2010).

#### **2.1.4. Pavimentos permeáveis**

Os pavimentos permeáveis são infraestruturas destinadas à circulação de veículos e de peões. No entanto são diferentes dos pisos convencionais, pois escoam e filtram as águas da chuva, permitindo reduzir os seus caudais de ponta e volumes de escoamento (Vale, 2011).

A dinâmica de um pavimento permeável começa pela infiltração do escoamento no revestimento poroso, que depois passa por um filtro que podem ter duas camadas de agregados (finos ou médios e outra de grossos) e pela camada do pavimento propriamente dita. Após isto, a água pluvial é desviada através dessas camadas permeáveis para um reservatório localizado em baixo da superfície do solo. A água retida nesse reservatório pode ser infiltrada no subsolo ou recolhida e transportada para os coletores de drenagem urbana até ao seu meio recetor (Martins, 2012). A imagem seguinte contém todas as camadas que constituem um pavimento permeável.



**Figura 9** - (A): Secção transversal de um pavimento permeável (Téchne, 2012); (B): Exemplo de um pavimento permeável (xpdrainage, 2016).

Os pavimentos permeáveis, podem ser aplicados em arruamentos com baixa intensidade de tráfego, parques de estacionamento, passeios pedonais, praças, entre outros. É necessário ter em conta o local onde serão construídos, pois quanto maior a inclinação pior a eficiência do pavimento (Lourenço, 2009).

A camada de revestimento dos pavimentos permeáveis pode ser aplicada com asfalto poroso, betão poroso ou com blocos de betão com orifícios preenchidos com material granular ou relva (Kellagher et al., 2007).

Regra geral, os pavimentos permeáveis proporcionam os seguintes benefícios:

- São construídos como um pavimento, logo não precisam de nenhuma área adicional;
- Redução dos volumes escoados e dos caudais de pico, minimizando o risco de inundação;
- Reduzem a área impermeável;
- Recarregam os aquíferos (se a água pluvial conter uma qualidade adequada);
- Aumentam a segurança nas ruas (reduz a aquaplanagem), pois a quantidade de água existente nas superfícies é menor;

- Controla a erosão do solo;
- Faz a filtração, adsorção e sedimentação de poluentes presentes nas águas da chuva;
- Restitui os caudais a jusante, reduzindo as dimensões dos sistemas de drenagem (Lourenço, 2009).

As desvantagens são as seguintes:

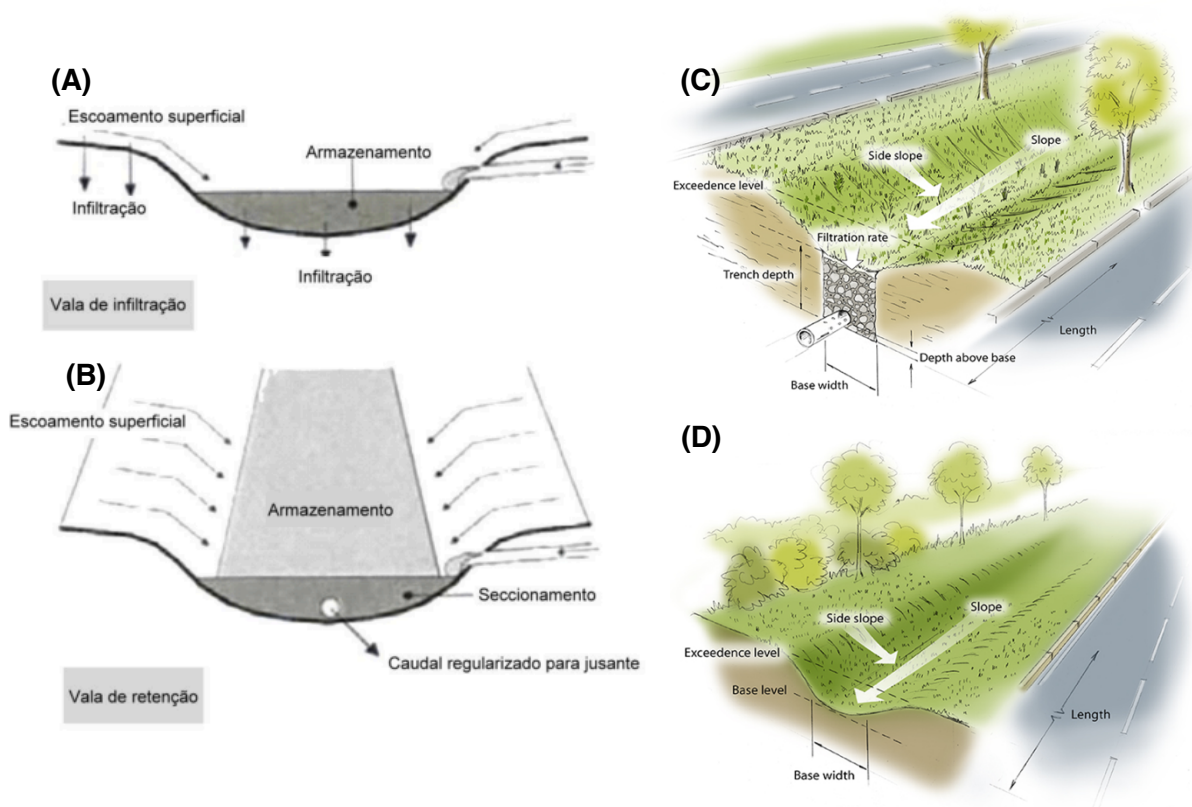
- Se a água drenada conter contaminações, poderá haver um impacto no lençol freático e nos escoamentos subterrâneos;
- Têm uma maior facilidade de formação de gelo;
- Têm custos elevados associados, bem como uma manutenção contínua;
- Existe uma falta de controlo na construção e manutenção, levando assim ao entupimento destas estruturas;
- Existe poucos profissionais qualificados para construir estes pavimentos (Lourenço, 2009).

#### **2.1.5. Valas com cobertura vegetal (“*swales*”)**

Este tipo de medida estrutural do SUDS de controlo na origem serve para o escoar os caudais das águas pluviais transportando-a de forma lenta ao longo do seu desenvolvimento, de forma a armazená-la ou filtrá-la. Podem ser aplicadas nas mediações de arrumamentos ou estradas e também podem ser integradas no espaços verdes urbanos (Lourenço, 2009).

São uma espécie de canal coberto por vegetação que tem uma subcamada com material mais grosseiro, que funciona da mesma forma que uma trincheira de infiltração (Sousa, 2014). Têm um desenvolvimento longitudinal, de secção transversal variável e larga (triangular, com curvatura, trapezoidal, etc.), a céu aberto e com pequena profundidade (Vale, 2011).

Existem dois tipos de valas com cobertura vegetal: valas de infiltração e valas de retenção, conforme exemplificado na figura 10.



**Figura 10** - (A): Secção transversal de uma vala de infiltração; (B) Secção de uma vala de retenção (Vale, 2011); (C): Exemplo de uma vala de infiltração; (D): Exemplo de uma vala de retenção (xpdrainage, 2016).

As principais vantagens das valas cobertas por vegetação são as seguintes:

- Removem sedimentos médios ou grosseiros, bem como contaminantes existentes nas águas pluviais;
- Reduzem os volumes de escoamento pela filtração;
- Diminuem as velocidades de escoamento, prevenindo as inundações;
- Permitem a circulação de pessoas quando não está a ocorrer precipitação;
- Oferecem um pré-tratamento às águas pluviais antes de estas entrarem nos coletores a jusante (Sousa, 2014);
- Fácil de construção e baixo custo de instalação e manutenção (Lourenço, 2009).

Podem-se enumerar as seguintes desvantagens:

- Não é aconselhável utilizar estas estruturas como tratamento de fim de linha, pois não são muito eficientes na gestão de grandes caudais;
- Em relação às trincheiras de infiltração, as valas cobertas por vegetação são concebidas para transportar volumes maiores e, desta forma as taxas de remoção de poluentes destas são inferiores (Lourenço, 2009).

### 2.1.6. Poços de infiltração

Os poços de infiltração são uma medida de controlo na origem que permitem a infiltração direta através da superfície ou da rede de coletores de águas pluviais no solo de forma a atenuar os caudais de ponta de cheia e consequentemente, diminuir os volumes do escoamento superficial melhorando assim a qualidade da água pluvial (Lourenço, 2009)

Estes poços podem ter material de enchimento que permite armazenar temporariamente a água da chuva. Este material de enchimento tem de ter características drenantes ou porosas (figura 11). Se os poços não conterem este enchimento é conveniente reforçar as suas paredes, de forma a não haver um desmoronamento do poço (Lourenço, 2009).



**Figura 11** - (A): Esquema de entrada e saída de água num poço de infiltração (Lourenço, 2009);  
(B): Exemplo de um poço de infiltração (xpdrainage, 2016).

Existe dois tipos de poços de infiltração: poços de infiltração e poços de injeção (figura 21). O primeiro tem a sua posição base acima do nível freático e a água pluvial é filtrada por percolação pela camada não saturada do solo. O segundo é quando o poço tem a sua cota abaixo do nível freático, deste modo, a água vai diretamente para o aquífero (Matos, 2003).

Estes tipos de estruturas têm uma forma cilíndrica (anéis de betão pré-fabricados perfurados, ou alvenaria com juntas abertas e revestidos com um material drenante ou

geotêxtil), estão enterrados e a sua profundidade e diâmetro dependem das características do solo e da quantidade de água que irá ser filtrada (Lourenço, 2009).

Posto isto, os poços de infiltração apresentam benefícios e limitações. Os benefícios são:

- Simplicidade de construção, logo tem custo baixo;
- Manutenção simples e também com custo baixo;
- Atingem grandes profundidades;
- Têm pouco impacto na paisagem, pois integram-se no panorama urbano;
- Recarregam os aquíferos, se a água não conter contaminações;
- Compatível com solos impermeáveis;
- Flexibilidade para aplicação em termos de utilização urbana;
- Podem estar associados a outras técnicas de controlo na origem (Lourenço, 2009).

As limitações são:

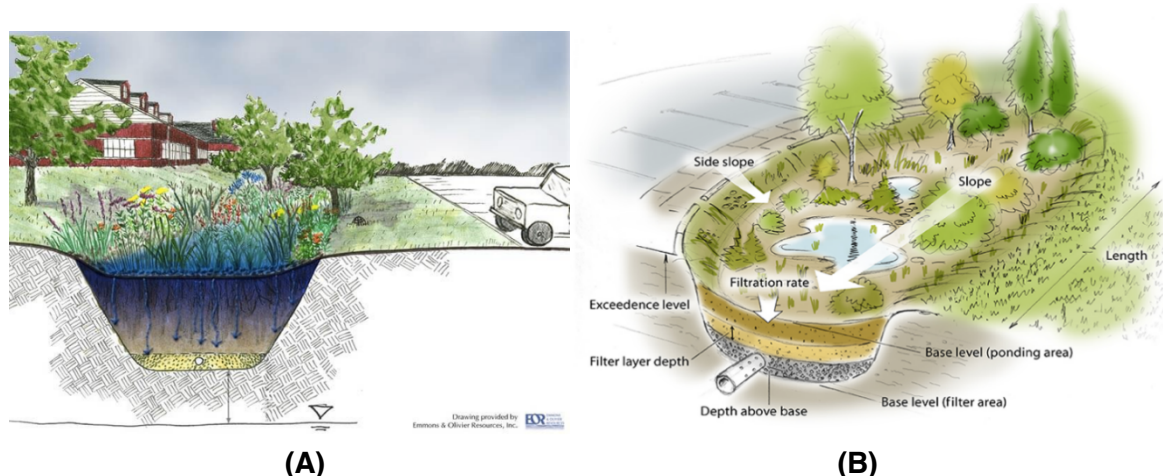
- Necessitam de um pré-tratamento;
- Têm uma escala reduzida ao nível do armazenamento;
- Precisam de manutenção periódica (para evitar a obstrução dos poros);
- Não são compatíveis com terrenos rochosos ou com níveis freáticos elevados;
- Requerem mão-de-obra especializada (Lourenço, 2009).

#### **2.1.7. Jardim em cova**

Os sistemas de jardim em cova são jardins bastante preenchidos com plantas que têm cotas inferiores ao restante solo. Podem ter camadas de areia ou gravilha de forma a aumentar a sua infiltração (exemplo na figura 12) (Melo, 2011).

Estas estruturas servem para filtrar e captar grandes quantidades de água, no entanto podem ter tubos enterrados para conectar e transportar a água recolhida para, por exemplo, uma outra estrutura de SUDS (Melo, 2011).





**Figura 12** - (A): Secção de um sistema de biorretenção (Neponset River Watershed Association, 2018); (B): Exemplo de um sistema de biorretenção (xpdrainage, 2016).

As suas vantagens são as seguintes:

- Controlam o escoamento de águas pluviais e removem os contaminantes;
- Oferece uma vantagem estética à paisagem;
- Criam habitats para os animais;
- Proporcionam benefícios ambientais para os residentes e ocupantes da área;
- Promovem a conservação de plantas;
- Melhoram a qualidade do ar;
- Minimizam as ilhas de calor;
- Baixo custo de implementação;
- São versáteis, pois podem-se aplicar em áreas residenciais, mais também ao longo de estradas, autoestradas e parque de estacionamento (Melo, 2011).

Desvantagens:

- Necessitam de manutenção, devido à densidade de plantas, árvores e arbustos;
- Têm de ter espécies que consigam suportar flutuações do nível de água (Melo, 2011).

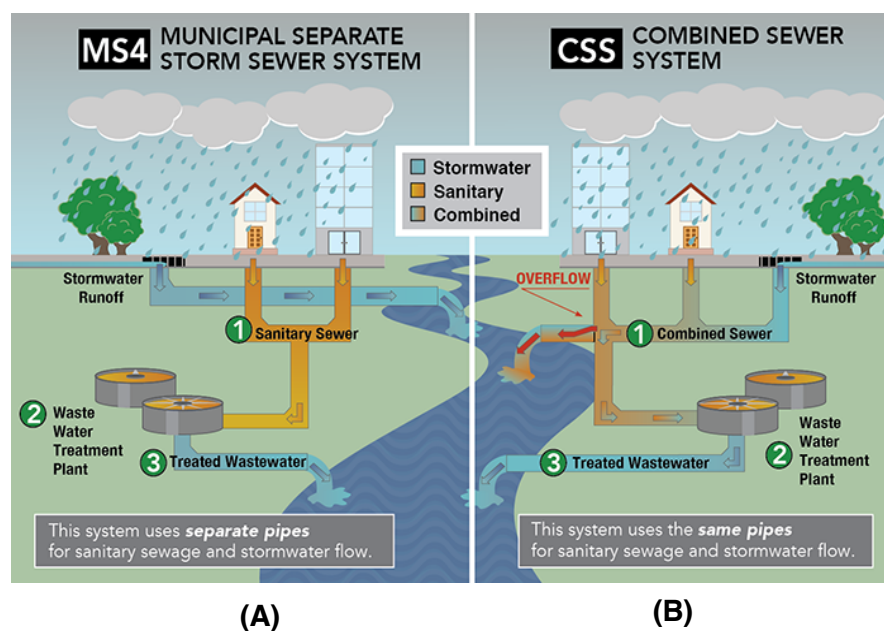
Todas estas medidas anteriormente apresentadas são bastante importantes para uma drenagem sustentável urbana. Além destas, existem mais, e à medida que o conhecimento em planeamento urbano sustentável aumenta aparecem muitas outras. O ponto seguinte é relativo aos sistemas de aproveitamento de águas pluviais, que juntamente com as técnicas referidas atrás acrescentam grandes benefícios para as cidades e residentes.



## 2.2. Constituintes de uma rede de águas pluviais

O Decreto Regulamentar nº 23/95 (Diário da República, 1995) define, conforme as origens da água, que os sistemas de drenagem pública podem classificar-se em:

- Sistemas separativos - constituídos por duas redes de coletores diferentes. Isto quer dizer, que neste tipo de sistemas, existe uma rede para águas residuais, tanto domésticas como industriais, e outra rede para as águas pluviais - figura 13 (A);
- Sistemas unitários - onde apenas existe uma rede de coletores, ou seja, as águas residuais e pluviais estão juntas;
- Sistemas mistos - é a combinação do sistema separativo com o sistema unitário - figura 13 (B);
- Sistema separativos parciais ou pseudo-separativos - é quando existe a ligação das águas pluviais de pátios interiores com as águas residuais domésticas. Este tipo de sistema só ocorre em condições excecionais.

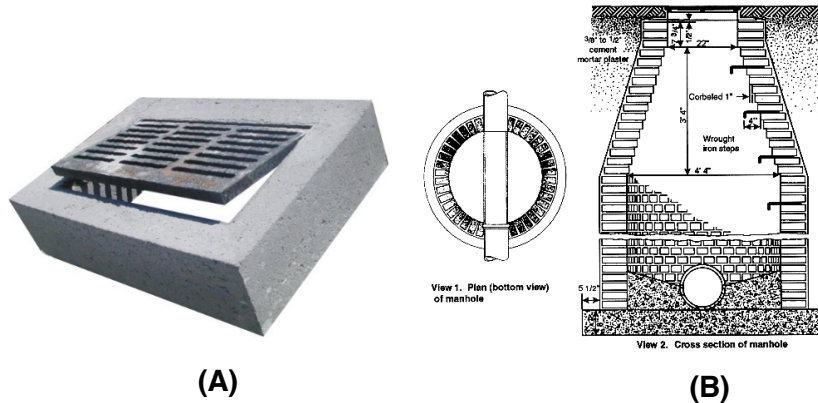


**Figura 13** - Esquema exemplificativo de um sistema separativo (A) e um sistema misto (B) (Chesapeake Quarterly - A Magazine from Maryland Sea Grant, 2016).

O mesmo DR menciona que preferencialmente se deve usar os sistemas separativos, pois estes não contaminam as águas pluviais e reduzem o caudal de água que tem de ir para uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).

Os sistemas de drenagem de águas pluviais são constituídos por vários órgãos, nomeadamente:

- Dispositivos de entrada – sarjetas, sumidouros e valetas - figura 14 (A);
- Câmaras de visita – órgãos destinados a facilitar o acesso aos coletores para as operações de manutenção e limpeza – figura 14 (B);
- Coletores – conjunto de tubagens que possibilita o transporte das águas pluviais que vão desde a entrada até ao seu destino. (Justino, 2016).



**Figura 14** - (A): Exemplo de uma sargeta (Tubani - Prefabricados de betão, 2010); (B): Esquema de uma câmara de visita (Engineering Technology Series - Concrete & Masonry, 2015).

### 2.3. Conceito de Aproveitamento de Águas Pluviais (AAP)

Em Portugal, o DR 23/95, define o conceito de águas pluviais, como “*resultantes da precipitação atmosférica caída diretamente no local ou em bacias limítrofes contribuintes e que apresentam geralmente menores quantidades de matéria poluente, particularmente de origem orgânica.*”

Com esta definição bem assente, consegue-se agora perceber melhor o conceito de Aproveitamento de Águas Pluviais (AAP). Trata-se de uma prática muito antiga, que voltou a ganhar relevo nos países desenvolvidos (devido ao aumento populacional nas zonas urbanas) de forma a solucionar o problema da escassez de água e de integrar as estratégias de eficiência hídrica de forma a racionalizar e reutilizar este recurso (Batista, 2014).

Em Portugal, o aumento do consumo de água, a degradação ambiental e do clima levaram a que a água potável se tornasse um recurso limitado. Por outro lado, a impermeabilização dos solos devido ao aumento das zonas urbanas diminui a infiltração das águas pluviais e aumenta o escoamento superficial, por consequência aumenta a ocorrência das

inundações (Melo, 2012). Deste modo a reutilização da água surge como uma alternativa para enfrentar esta problemática (Terêncio, 2014).

Existem várias tecnologias que constituem o AAP. Elas são usadas para captar a água da chuva em locais de superfície relativamente limpas, entre elas estão os telhados, pátios e vias de comunicação (Terêncio, 2014).

### **2.3.1. Importância do Aproveitamento de Águas Pluviais (AAP)**

A precipitação, muitas vezes tem origem numa atmosfera não poluída, e faz com que a água da chuva seja considerada uma fonte de água pura. No entanto, ao atingir a superfície terrestre pode ficar contaminada. Apesar deste obstáculo, a recolha de água pluvial é uma técnica de confiança desde que os sistemas que vão da recolha até ao tratamento sejam construídos e mantidos de forma correta e adequada (Araújo, 2011).

O aproveitamento de águas pluviais surgiu devido a três grandes problemas. O primeiro, é a escassez de água, o segundo, é facilitar as pessoas que vivem em áreas remotas terem acesso à água potável, e o terceiro é a drenagem urbana (Araújo, 2011).

Desta forma, a recolha e utilização das águas pluviais é cada vez mais considerada como uma medida importante e adequada, pois desta forma é possível uma solução parcial dos problemas enfrentados tanto nas áreas remotas como nas áreas urbanas (Araújo, 2011). Também permite melhorar a sustentabilidade dos sistemas (Oliveira et al., 2011). A reutilização de águas pluviais para usos urbanos é uma medida importante no âmbito do Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) (Almeida et al., 2006). Desta forma a reutilização de águas pluviais:

- Permite reduzir o consumo de água para consumo humano, com particular interesse nas zonas com pouca disponibilidade de água;
- A água recolhida apresenta uma boa qualidade para utilizar em fontes não potáveis (como rega, sistemas de autoclismo, etc.);
- Reduz as escorrências pluviais em zonas urbanas;
- E trata-se de uma água de origem renovável, dependendo do regime de precipitação (Oliveira et al., 2011).

O aproveitamento de águas da chuva depende, claramente, do regime de precipitação, da área de captação, do volume de armazenamento, da magnitude do consumo de água potável e da sua utilização (Oliveira et al., 2011).

### 2.3.2. Qualidade das águas pluviais

A precipitação é água que é originada pelo vapor de água na atmosfera e que é depositada na superfície terrestre. Trata-se de fenómeno meteorológico que contém níveis baixos de sais dissolvidos. Como já referido no ponto anterior, a chuva ao entrar em contacto com a superfície terrestre ou com uma atmosfera poluída pode conter impurezas, tais como sais e gases desenvolvidos, matéria em suspensão, bactérias e até microrganismos. É claro que a chuva que se forma em zonas rurais e florestais é mais pura do que a que se forma nas zonas urbanas (Melo, 2012).

O aproveitamento das águas pluviais requer uma boa gestão a nível da qualidade e quantidade da mesma. A qualidade da água é apresentada por parâmetros físicos (exemplos: turbidez, temperatura, odor, cor, etc.), químicos (exemplos: pH, alcalinidade, Carência Bioquímica de Oxigénio – CBO, Carência Química de Oxigénio – CQO, nitrato, fósforo, etc.) e biológicos (carga orgânica, contaminação fecal, etc.) (Melo, 2012).

Na tabela seguinte encontram-se descritos os parâmetros que se deve ter em atenção no reaproveitamento das águas pluviais. Neste trabalho, mais à frente, estão descritos sistemas de tratamento destas.

**Tabela 1** - Parâmetros importantes para a caracterização da qualidade das escorrências (adaptado de Vale, 2011).

<b>Parâmetros físico-químicos</b> <b>Indicador da especiação dos metais pesados</b> <b>Sólidos</b> <b>Metais pesados</b> <b>Matéria orgânica agregada</b> <b>Nutrientes</b>	pH, condutividade, turvação Dureza total SST Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni CQO, CBO, COT, Hidrocarbonetos totais N total, Nitratos, P total
--	---

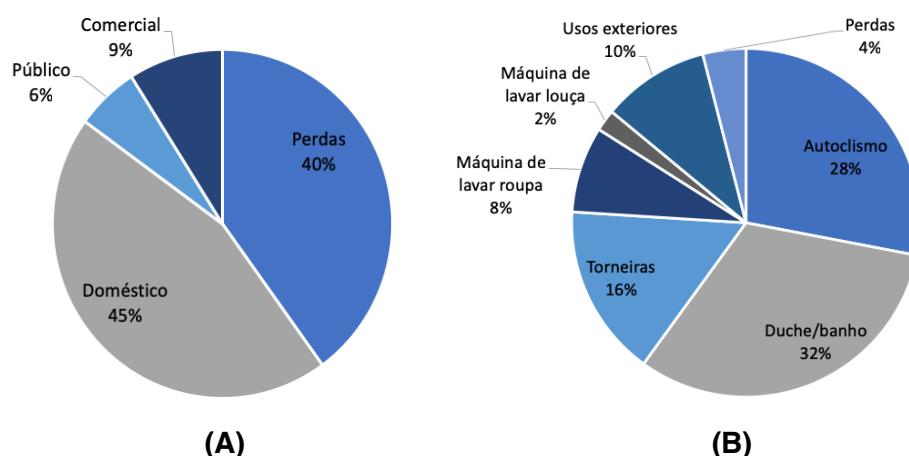
A qualidade de água pluvial é influenciada por diversos fatores, tais como: localização geográfica da área de captação (como já referido anteriormente), a presença de vegetação, a poluição e a composição dos materiais que formam o sistema de captação e armazenamento (Melo, 2012).

### 2.3.3. Usos compatíveis com o AAP

A água aproveitada da chuva pode ser usada em vários setores com fins não potáveis. No setor residencial/doméstico, a água aproveitada pode ser usada para a descarga sanitária (por exemplo: autoclismos), serviços de limpeza (exemplo: lavagem de roupas, de automóveis e pavimentos), redes de combate a incêndios, rega de jardins, refrigeração do ar condicionado e uso de piscinas ecológicas.

Além de tudo isto, e segundo (Lawson et al., 2009), a água pluvial aproveitada também pode ser usada para fins potáveis, tais como cozinhar, beber, tomar banho e lavar loiça. Tem é de ter um tratamento mais específico e adequado.

Na figura 15, é notável que o usos de água são mais expressivos no setor doméstico, e que os banhos/duches e as descargas sanitárias são os pontos mais críticos no que respeita à quantidade de água utilizada.



**Figura 15** - Distribuição dos usos de água no setor urbano/doméstico (A) e distribuição dos consumos urbanos (B) (adaptado de Melo, 2012).

No setor agrícola esta água aproveitada é utilizada na irrigação de plantações (Melo, 2012). No setor industrial, para além dos usos anteriores, pode também ser usada no arrefecimento de máquinas e outros equipamentos, no serviço hoteleiro, por exemplo para o abastecimento de caldeiras e reposição de água evaporada de piscinas, entre outros (Batista, 2014).

#### 2.3.4. Vantagens e desvantagens do AAP

O aproveitamento de águas pluviais abrange bastantes vantagens, no entanto também contém aspetos menos positivos.

Relativamente aos aspetos positivos, a AAP:

- Possibilita a redução do consumo de água potável diminuindo, deste modo, os custos aos utilizadores (Melo, 2012);
- Minimiza os riscos de inundações, pois controla o escoamento e diminui o volume de água no sistema de drenagem urbana (Batista, 2014);
- Restaura o ciclo hidrológico (Batista, 2014);
- Tem menos impactos nos recursos hídricos e ambiente comparando com outras formas de produzir água ou seja, contribui para a conservação da água (Terêncio, 2014);

- É uma fonte de água com qualidade e pureza (United Nations Environment Programme, 2006);
- As propriedades químicas e físicas deste tipo de águas é muitas vezes superior às águas subterrâneas (United Nations Environment Programme, 2006);
- As águas da chuva são águas macias em relação à água que vem da rede, e sendo assim não necessita de tratamento de dureza diminuindo a quantidade de detergentes necessários para o seu tratamento (Terêncio, 2014);
- É uma forma de mitigação e adaptação às alterações climáticas, pois é um instrumento de combate à escassez de água (United Nations Environment Programme, 2009);
- Reduz as emissões de CO<sub>2</sub>, pois, comparando com os outros sistemas de distribuição, a AAP não precisa de consumir tanta energia (United Nations Environment Programme, 2009);
- Cria oportunidades para a manutenção dos ecossistemas agrícolas e pecuários (melhor abastecimento para irrigação por exemplo) (United Nations Environment Programme, 2009);
- Estes tipos de sistemas são de fácil instalação e a captação de água é feita perto da fonte, o que elimina a necessidade dos sistemas de distribuição e também elimina as perdas de água no transporte (Terêncio, 2014);
- São uma boa reserva de água para situações de emergência, como a interrupção do abastecimento público (Terêncio, 2014).

No entanto, e como em tudo, não existe só vantagens, o aproveitamento de águas pluviais também acarreta algumas desvantagens, tais como:

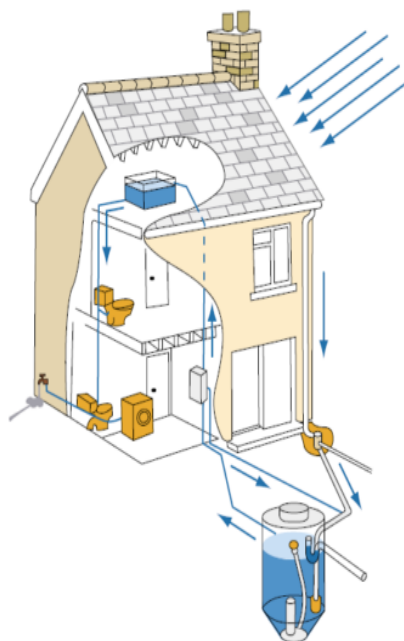
- Os AAP estão dependentes da precipitação (Terêncio, 2014);
- As pessoas acham que a qualidade da água proveniente da chuva poderá trazer problemas para a saúde, daí não ser muito aceitável socialmente (Ministério da Agricultura do Mar do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2012);
- Implica manutenção e investimento, principalmente nas habitações unifamiliares, o que muitas vezes torna o investimento inatingível (Ministério da Agricultura do Mar do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2012);
- As empresas responsáveis pelo abastecimento de água perdem lucro (Batista, 2014);
- Ausência regulamentos, legislação e estratégias governamentais (Terêncio, 2014);
- Os benefícios financeiros são obtidos a longo prazo (Batista, 2014);
- A capacidade do sistema de armazenamento é uma limitação relativa à quantidade de água que pode ser recolhida (Terêncio, 2014).

## **2.4. Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP)**

Os SAAP têm como finalidade o reaproveitamento e utilização de águas pluviais. Como já mencionado anteriormente, estes sistemas dependem da precipitação, da área de captação e das necessidades hídricas. Estes sistemas devem ser construídos de forma

mais simples possível, tendo em conta as condições ambientais e económicas locais (Terêncio, 2014). A figura 16 representa um SAAP de forma esquemática.

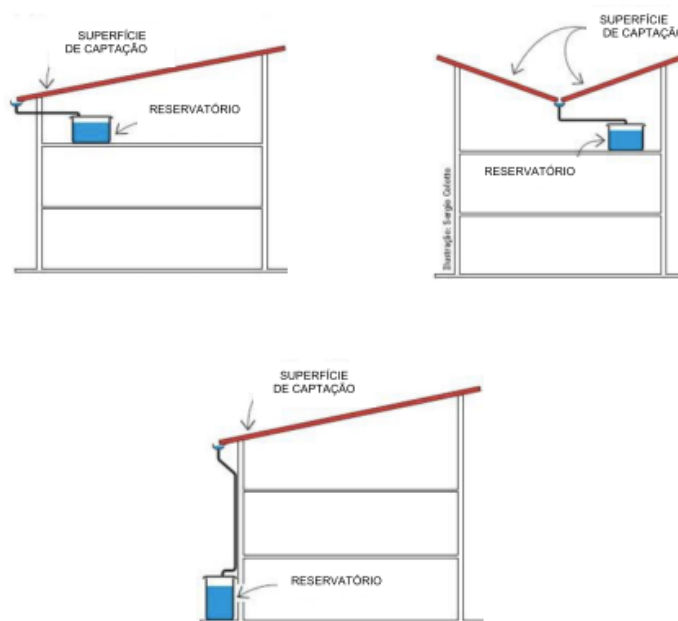
Os SAAP têm vários graus de complexidade e são constituídos de uma forma geral, por captação, transporte, armazenamento e tratamento (Melo, 2012). Nos pontos seguintes, está descrito mais detalhadamente cada constituinte de um SAAP.



**Figura 16** - Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) (Batista, 2008).

#### **2.4.1. Captação**

A captação é a recolha da água da chuva para o abastecimento. Esta cai sobre telhados ou das superfícies do solo (superfícies impermeáveis) e é captada (exemplos na figura 17). A captação, varia com a dimensão e composição da superfície (Melo, 2012).



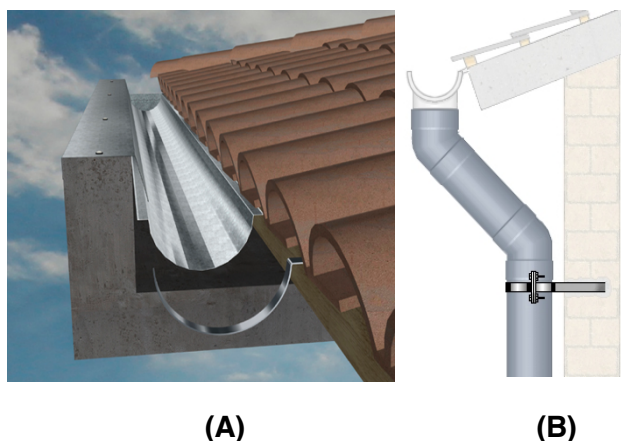
**Figura 17** - Exemplo de superfícies para captação de águas pluviais (Fernandes, 2010).

A qualidade da água recolhida, além de depender do ambiente atmosférico envolvente, também depende do tipo de cobertura ou superfície (materiais usados) e a sua respetiva manutenção, ou seja, se é limpa periodicamente. Porém, os “swales” em locais abertos, são a melhor forma de tratamento e captação de água no exterior (Terêncio, 2014).

#### **2.4.2. Transporte**

O sistema de distribuição é constituído por caleiras (superfície livre de secção fechada ou aberta) que estão na parte lateral dos telhados, que levam as águas pluviais até a um tubo de queda (conforme na figura 18) (Melo, 2012). Este sistema é usado para o transporte de água até a um reservatório de armazenamento. Para uma boa eficácia deste sistema é necessário que as caleiras sejam bem construídas e mantidas. Estas podem ter diferentes formas e diferentes materiais, mas normalmente o material usado para a sua construção é o PVC. Porém, muitas vezes, a água da chuva pode transbordar por cima da caleira, devido à intensidade da precipitação (Araújo, 2011).





**Figura 18** - (A): Exemplo de uma calreira (Fórum da Casa, 2016); (B): Exemplo de um tubo de queda (CYPE Ingenieros, 2018).

### 2.4.3. Armazenamento

O reservatório para armazenamento de água é o constituinte mais caro de todo o SAAP, desta forma é necessário escolher de forma mais adequada possível o seu posicionamento e os materiais da sua construção (Amaral, 2007). Também é necessário uma manutenção e limpeza periódica de forma a evitar que a água se contamine (Araújo, 2011).

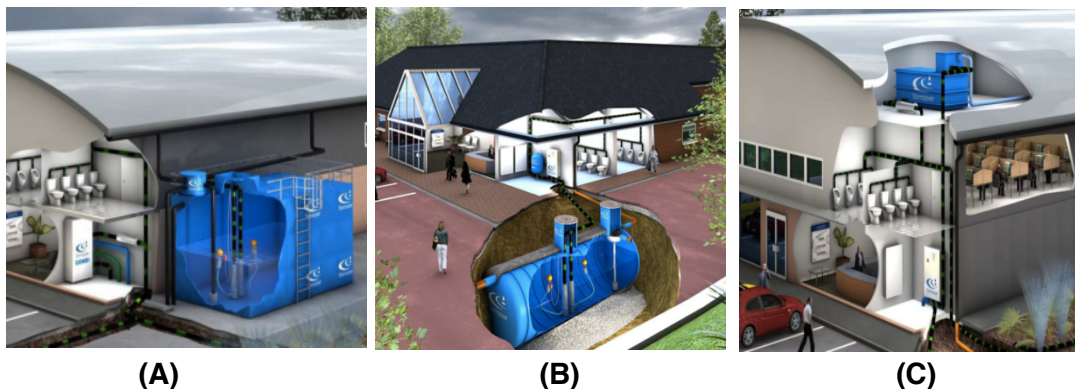
O seu posicionamento e localização devem ser bem pensados, pois se for colocado em baixo do solo pode haver raízes de árvores que danifiquem a estrutura, se for colocado parcialmente acima do nível do solo poderá trazer problemas para o reservatório com a passagem de camiões. E o facto de ser construído a uma grande distância de um lençol freático evita-se problemas causados pela subida de água deste (Araújo, 2011).

Relativamente aos materiais usados tem de requerer um especial cuidado, pois os tanques e cisternas terão de resistir às pressões elevadas, como a da água e do solo (Araújo, 2011).

Sendo a limpeza um ponto importante na eficiência de um SAAP, foram concebidos reservatórios que têm incluído um sistema de autolimpeza. O seu funcionamento é bastante simples. O reservatório de autolimpeza recebe a água até ficar totalmente cheio, isto implica o fecho automático de uma válvula e flutuador, neste momento a água é direcionada para o seu armazenamento. Assim que reservatório de autolimpeza deixa de receber a água pluvial, este é esvaziado através de um orifício e deste modo retorna às condições iniciais de funcionamento. Contudo, e com uma periodicidade de 2 a 3 anos, os reservatórios devem ser examinados e limpos (se necessário), devido à acumulação de lamas, pois estas proporcionam o desenvolvimento de microrganismos (Bertolo, 2006).

Existem três tipos de reservatórios para armazenamento, são eles: de superfície (tanques), cisternas (estão enterradas no solo) e elevados (colocados no telhado/sótão) – figura 19.

Os reservatórios de superfície são os mais utilizados quando a recolha é feita a partir do telhado. Porém são mais caros em relação as cisternas, mas têm uma durabilidade maior (Araújo, 2011).



**Figura 19** - Exemplos de tipos de reservatórios de armazenamento de águas pluviais. (A): Reservatório de superfície (tanque); (B): Reservatório enterrado no solo (cisterna); (C): reservatório elevatório (Batista, 2014).

É importante notar, que as coberturas dos reservatórios devem ser totalmente impenetráveis e devem existir tampas nas tubagens de entrada de água e de descarga de superfície (Melo, 2012).

#### 2.4.4. Tratamento

Esta etapa depende da qualidade da água recolhida e do uso a que é destinada. É lógico que quanto mais limpa vem a água da superfície de captação menor é a intensidade do tratamento. Também, se a água se destinar a fins potáveis terá de beneficiar de um tratamento mais rigoroso, enquanto se for destinada para fins não potáveis apenas é necessário uma filtração simples (Terêncio, 2014).

Segundo Melo, 2012 existem três tipos principais de tratamento:

- Tratamento higiénico/desinfetante – trata de remover as bactérias e componentes mais nocivos, corrigir a mineralização excessiva e os teores elevados de microrganismos;
- Tratamento estético – corrige apenas a cor, o sabor, a turbidez;
- Tratamento económico – reduz a corrosividade, o ferro, o magnésio, a dureza, a turvação, cor, odor, sabor, etc (Melo, 2012).

A tabela seguinte mostra alguns exemplos de atividades que usam as águas pluviais com o tipo de tratamento que necessitam.

**Tabela 2** - Usos da água e os tratamentos que devem ter (adaptado de Melo, 2011).

Uso requerido pela água	Tratamento necessário
Rega de jardins Rede de incêndio, ar condicionados Fontes e lagoas, descargas de sanitários, lavagem de roupas e veículos Piscina/banho, consumo humano e preparação de alimentos	Nenhum tratamento* Cuidados para manter o equipamento Tratamento higiénico, devido ao possível contacto do corpo humano com a água Desinfecção, para ser consumida direta ou indiretamente

\*Se cumprir com os Valores Máximos Recomendados (VMR) do Decreto-Lei nº 236/98 – Anexo IV.

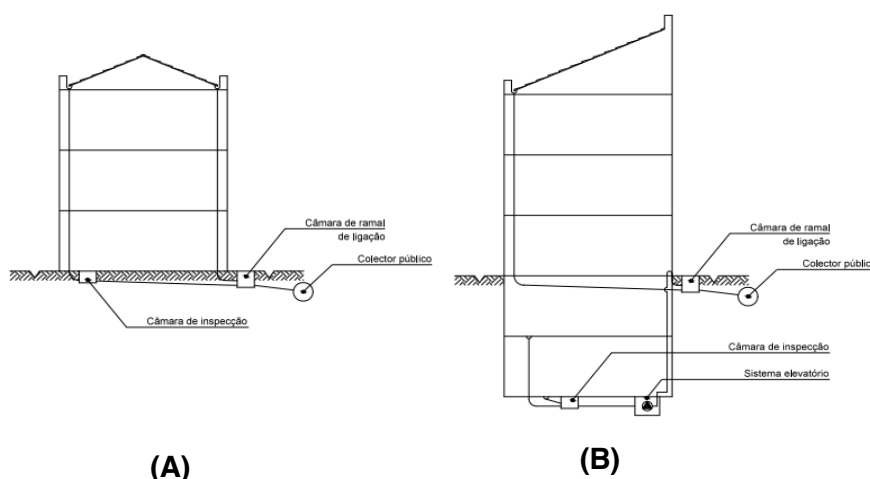
Existem várias técnicas de tratamento da água pluvial, nomeadamente:

- Pré-filtração, que pode passar por uma remoção de detritos grosseiros e folhas através de grelhas nas caleiras, bem por um sistema de rejeição da primeira água antes do reservatório – dispositivos *First-Flush*;
- Sedimentação, que é colocado dentro do reservatório, que sedimenta as partículas em suspensas.
- Filtração, que pode ter vários tipos:
  - Em linha ou Multi-cartucho, é colocado após a bomba e criva os sedimentos;
  - Carvão ativado, localizado na torneira e remove o cloro;
  - Osmose inversa, também localizado na torneira para remover contaminantes;
  - Meios combinados localizado no reservatório separado e, desta forma retém as partículas e matéria em suspensão;
  - Filtro de areia, também situado no reservatório separado e tem a mesma função do anterior;
- Desinfecção, que é um tratamento para eliminar os microrganismos, e pode ser por:
  - Fervura ou destilação, fica situada antes da utilização;
  - Tratamentos químicos (por exemplo através de cloro), é instalado dentro do reservatório ou na bomba;
  - Radiação U.V., que se coloca depois do filtro de carvão ativado e antes da torneira;
  - Por fim, existe a ozonização, que é fixado antes da torneira (Melo, 2012).

#### 2.4.5. Distribuição

Após estar armazenada no reservatório, a água pluvial pode ser distribuída por três tipos de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais, são eles: Sistema SAAP por bombagem, gravítico e misto (Figura 20).

No sistema de bombagem, tal como o nome indica, é necessário a utilização de uma bomba para elevar a água, é utilizado quando a água pluvial recolhida se encontra a um nível mais baixo do que o coletor de drenagem. No entanto existem gastos energéticos associados. No sistema SAAP gravítico a bomba não é necessária, sendo que a distribuição da água é feita pela força da gravidade, este sistema é utilizado quando a água recolhida se encontra a um nível mais elevado do que o coletor. Por último, o sistema misto, é uma junção dos dois sistemas anteriores, ou seja, funciona por bombagem quando falta energia. É utilizado quando a recolha de águas pluviais é feita a cima ou a baixo do coletor (Quina Lé, 2012).



**Figura 20** - (A): SAAP por gravidade; (B): SAAP misto (Rino, 2011).

A aplicação deste trabalho envolve o Campus Universitário de Santiago, todos os pontos abordados anteriormente são importantes para uma melhor aplicação e discussão dos resultados provenientes do modelo. Os tópicos seguintes irão abordar o caso de estudo e toda a metodologia usada.

## METODOLOGIA E CASO DE ESTUDO

---

Neste capítulo será apresentada a metodologia usada para a criação e simulação do modelo no SWMM com o objetivo de diagnosticar a rede de águas pluviais no Campus da UA, bem como a analisar as oscilações de caudais relacionados com os coletores dessa rede de forma a avaliar quais os pontos críticos.

A metodologia foi dividida em 4 partes principais constituídas por:

- Definição das propriedades do SWMM;
- Apresentação do caso de estudo e a sua aplicação no SWMM;
- Saídas de campo;
- Trabalho laboratorial.

### 3.1. Apresentação do SWMM

O modelo de gestão de águas pluviais da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) é um modelo de simulação de chuva-escoamento dinâmico usado para simulação de evento único ou de longo prazo (contínuo) da quantidade e qualidade de escoamento de áreas principalmente urbanas. A componente de escoamento do SWMM opera num conjunto de áreas (sub-bacias) que recebem precipitação e geram cargas de escoamento e poluentes. O programa transporta esse escoamento através de um sistema de tubos, canais, dispositivos de armazenamento/tratamento, bombas e reguladores. O SWMM rastreia a quantidade e a qualidade do escoamento gerado dentro de cada sub-bacia e qual a sua taxa de vazão, a sua profundidade e a qualidade da água em cada conduta durante um período de simulação composto por vários passos de tempo (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

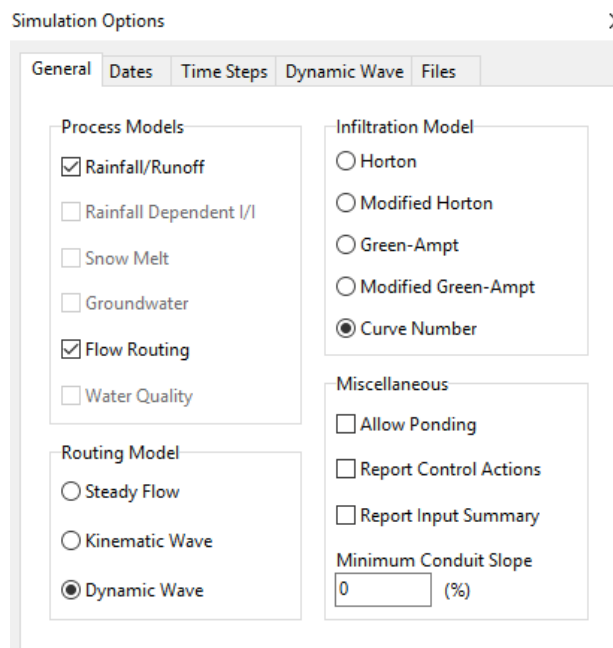
No software é necessário inserir os parâmetros relativos a quase todos os componentes listados em baixo:

- Opções de simulação;
- Propriedades dos objetos que constituem o sistema:
  - Caixas de visita (*Junctions*);
  - Coletores (*Conduits*);
  - Pontos de descarga (*Outfall*);
  - Sub-bacias (*Subcatchments*);

- Unidades de armazenamento (*Storage Units*);
- Orifícios (*Orifice*);
- Bombas (*Pumps*);
- Pluviômetro (*Rain-Gage*).
- Dados de climatologia.

### 3.1.1. Opções de simulação

As opções de simulação determinam como a análise será realizada (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). As opções de simulação têm diferentes separadores que contém dentro deles diferentes parâmetros – figura 21.



**Figura 21** - Interface do SWMM para inserir os parâmetros relativos às opções gerais de simulação.

#### Geral (*General*):

**Modelos de Processo (*Process Models*):** esta seção permite selecionar quais modelos de processo do SWMM que serão aplicados ao projeto atual. É de notar que, se não houver elementos no projeto necessários para modelar um determinado processo, essa opção do processo será desativada (por exemplo, se não houver aquíferos definidos para o projeto, a caixa de seleção água subterrânea terá de aparecer desmarcada) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015);

**Método de infiltração (*Infiltration Model*):** esta opção controla como é modelada a infiltração de chuva na zona superior do solo das sub-bacias. As escolhas são: *Horton*,

*Horton* modificado, *Green-Ampt*, Modificado *Green-Ampt* e Número de curva (*Curve Number*). Na tabela seguinte é possível ver a descrição detalhada de cada método (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

**Tabela 3** - Tipos de métodos de infiltração e a sua respetiva descrição (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Método	Descrição
Método de <i>Horton</i>	Baseado em observações empíricas mostrando que a infiltração diminui exponencialmente de uma taxa máxima inicial para uma taxa mínima ao longo de um evento de chuvas longas.
Método <i>Horton</i> Modificado	Esta é uma versão modificada do Método <i>Horton</i> clássico que utiliza a infiltração cumulativa em excesso da taxa mínima como sua variável de estado (em vez do tempo ao longo da curva de <i>Horton</i> ), fornecendo uma estimativa de infiltração mais precisa quando ocorrem baixas intensidades de precipitação.
Método <i>Green-Ampt</i>	Este método assume que existe uma frente de húmida na coluna do solo, separando o solo com algum teor de humidade inicial abaixo do solo saturado acima.
Modificado Método <i>Green-Ampt</i>	Este método modifica o procedimento original de <i>Green-Ampt</i> por não esgotar o défice de humidade na camada de superfície superior do solo durante os períodos iniciais de baixa precipitação. Essa mudança pode produzir um comportamento de infiltração mais realista para tempestades com longos períodos iniciais em que a intensidade da chuva está abaixo da condutividade hidráulica saturada do solo.
Método do Número da Curva	Esta abordagem é adotada a partir do método NRCS (SCS) <i>Curve Number</i> ( <i>Nº de curva</i> ) para estimar o escoamento. Assume-se que a capacidade total de infiltração de um solo pode ser encontrada no Número de Curva tabelado do solo. Durante um evento de chuva, esta capacidade é reduzida em função da precipitação acumulada e da capacidade restante.

**Modelo de propagação (*Routing Model*):** esta opção determina qual método que é usado para rotear os escoamentos através do sistema de transporte. As escolhas são: fluxo constante; onda cinemática e onda dinâmica – tabela 4 (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

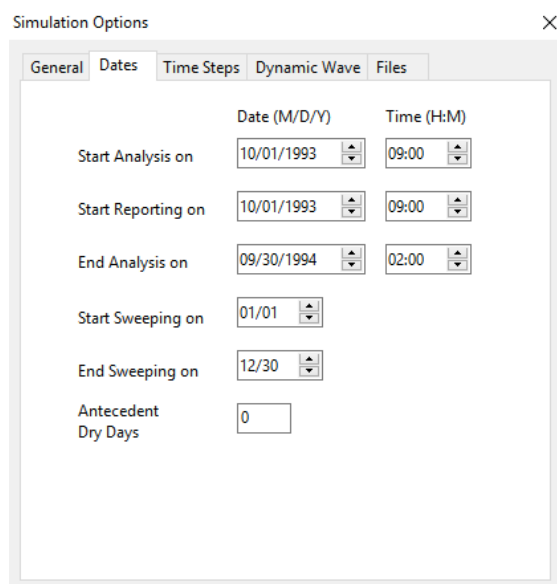
**Tabela 4** - Tipos de modelos de propagação e a sua respetiva descrição (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Modelo de propagação	Descrição
Fluxo Constante	Representa o tipo mais simples de roteamento possível (sem roteamento), assumindo que dentro de cada intervalo de tempo computacional o escoamento é uniforme e estável.
Onda Cinemática	Resolve a equação de continuidade com uma forma simplificada da equação de momento em cada conduta. Esta equação assume que a inclinação da superfície da água é igual à inclinação da conduta.
Onda Dinâmica	Resolve as equações de fluxo de <i>Saint Venant</i> unidimensionais completas e, portanto, produz os resultados mais precisos teoricamente. Essas equações consistem nas equações de continuidade e momento para condutos e uma equação de continuidade de volume nos nós.

**Diversos (*Miscellaneous*):** nesta opção é possível selecionar ou desseleccionar vários parâmetros, tais como: permitir alagamento (permite que o excesso de água seja armazenado sobre nós e seja reintroduzido no sistema, conforme as condições permitirem), ações de controle de relatório (se for necessário que relatório de estado da simulação registre todas as ações de controlo discreto tomadas pelas regras de controlo associadas ao projeto), resumo da entrada de relatório (relatório de estado da simulação regista um resumo dos dados de entrada do projeto), e inclinação mínima da conduta (valor mínimo permitido para a inclinação de um coletor em %) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Datas (*Dates*):

Refere-se à data de início e de fim da simulação, bem como a data de início do relatório. É importante referir que as datas de início e de fim têm de coincidir com o tempo de simulação (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). A figura 22 é um exemplo da interface do SWMM referente ao separador de data.



**Figura 22** - Interface do SWMM relativo às datas de fim e de início da análise e do relatório.

#### Passos de tempo (*Time Steps*):

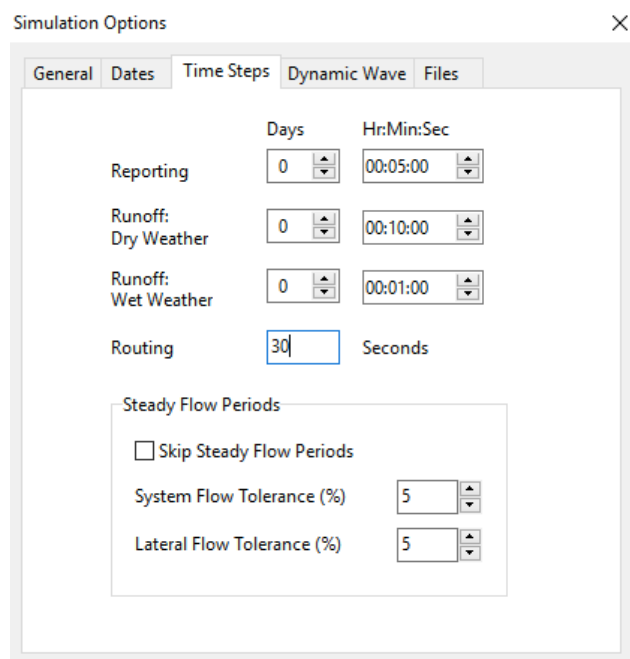
Estabelecem a duração das etapas de tempo usadas para os cálculos do escoamento, propagação superficial nos coletores, e do relatório dos resultados. As propriedades modificadas neste separador foram:

- **Passo de tempo do relatório:** é o intervalo de tempo para a apresentação dos resultados calculados;



- **Passo de tempo do escoamento em período chuvoso:** refere-se ao comprimento do intervalo de tempo utilizado para calcular o escoamento das sub-bacias durante períodos de precipitação, ou quando a água inundada ainda permanece na superfície;
- **Passos de tempo do escoamento em período seco:** é o comprimento do passo de tempo usado para cálculos de escoamento durante os períodos em que não há chuvas. Este passo de tempo deve ser maior ou igual ao intervalo de tempo do período chuvoso. Passos do tempo de propagação: é o comprimento do passo de tempo em segundos decimais usado em escoamentos de propagação e componentes de qualidade da água através do sistema de transporte. É de notar que na propagação do tipo onda dinâmica é necessário um passo de tempo muito menor que os outros modelos propagação do escoamento, por volta dos 30 segundos ou menos (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

A imagem seguinte é o exemplo da interface do SWMM relativo aos passos de tempo.



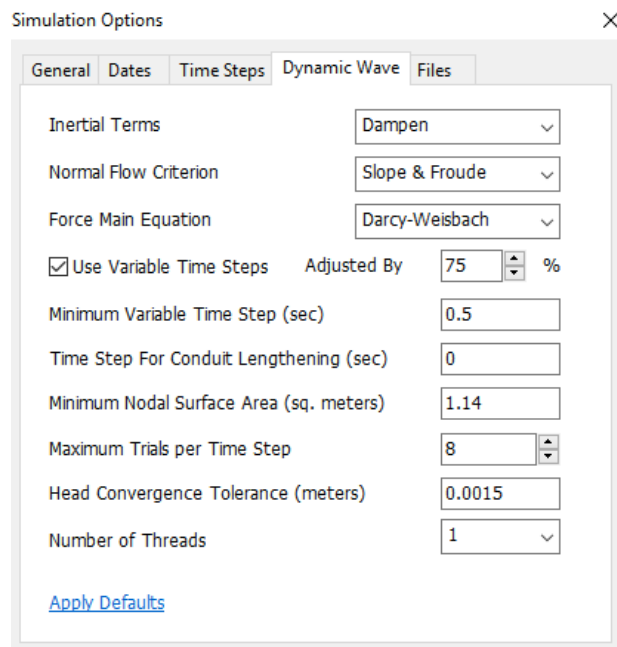
**Figura 23** - Interface do SWMM para inserir os parâmetros relativos aos passos tempo.

#### Opções do modelo de onda dinâmica (*Dynamic Wave*):

Definem vários parâmetros que controlam como os cálculos de propagação do escoamento de uma onda dinâmica são feitos. Estes parâmetros não têm efeito para os outros modelos de propagação do escoamento (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). Os principais parâmetros são:

- Termos de inércia que indicam como é que os termos de inércia da equação de *St. Venant* serão controlados. Existem 3 opções:
  - **KEEP** que mantém esses termos pelo seu valor total sob todas as condições;
  - **DAMPEN** que reduz os termos à medida que o escoamento se aproxima de ser crítico e os ignora quando o escoamento é supercrítico;
  - **IGNORE** que elimina completamente os termos da equação de Venant, produzindo o que é essencialmente uma equação de difusão.
- Definição do escoamento supercrítico, seleciona a base usada para determinar quando ocorre um escoamento supercrítico num coletor. As opções são:
  - Apenas pela inclinação da superfície da água (ou seja, inclinação da superfície da água > inclinação do coletor);
  - Número de *Froude* apenas (ou seja, número de *Froude* > 1,0);
  - Tanto pela inclinação da superfície da água como pelo número de *Froude*.
- Equação da perda de carga, seleciona qual equação será usada para calcular as perdas por atrito durante o escoamento pressurizado para os coletores circulares. As escolhas são a equação de *Hazen-Williams* ou a equação de *Darcy-Weisbach* (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

A imagem seguinte é a interface do programa SWMM referente à opção do modelo de onda dinâmica.



**Figura 24** - Interface do SWMM para inserir as opções do modelo de onda dinâmica.

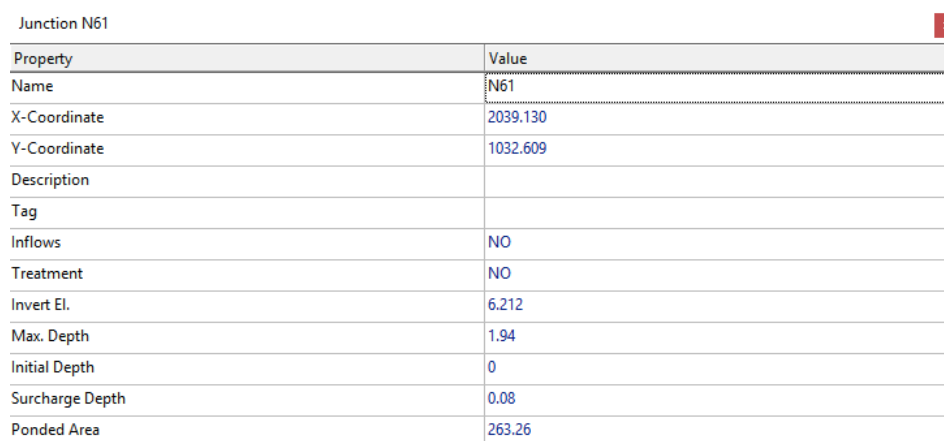
### 3.1.2. Propriedades dos objetos que constituem o sistema

#### 3.1.2.1. Nós

As caixas de visita são nós do sistema de drenagem onde as condutas se juntam (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). Os principais parâmetros de entrada para uma caixa de visita são:

- Cota da soleira (*Invert Elevation*);
- Profundidade da soleira (*Maximum Depth*);
- Altura inicial (*Initial Depth*);
- Altura de sobrecarga (*Surcharge Depth*);
- Área alagada (*Ponded Area*).

A imagem seguinte é um exemplo da interface do SWMM onde se colocam as propriedades das caixas de visita.



Property	Value
Name	N61
X-Coordinate	2039.130
Y-Coordinate	1032.609
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	6.212
Max. Depth	1.94
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0.08
Ponded Area	263.26

**Figura 25** – Interface do SWMM para inserir os parâmetros das caixas de visita.

#### Cota da soleira:

É a cota a que se encontra a base do coletor em metros (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). É possível obter a cota de soleira fazendo a diferença entre a cota do terreno a que a tampa se encontrava e a altura medida.

#### Profundida da soleira:

É calculada através da diferença entre a cota do terreno e a cota da soleira (em metros) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Altura inicial:

Parâmetro referente à altura de água existente na caixa de visita no início da simulação em metros (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Altura da sobrecarga:

É a profundidade adicional de água além da profundidade máxima permitida antes da inundação da caixa de visita (em metros) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Área alagada:

É a área (em m<sup>2</sup>) que inundada quando a caixa de visita transborda (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). Normalmente as zonas das bermas das estradas mais próximas de cada caixa de visita correspondem à área alagada.

### **3.1.2.2. Condutas**

Os coletores ou condutas são tubulações ou canais que movem a água de um nó para outro no sistema de transporte (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). No SWMM os principais parâmetros de entrada dos coletores que foram inseridas foram (figura 26):

- Nó de entrada e nó de saída (*Inlet Node* e *Outlet Node* respetivamente);
- Tipo de secção (*Shape*);
- Altura máxima (*Maximum Depth*);
- Comprimento do coletor (*Length*);
- Rugosidade (*Roughness*);
- Coeficiente de perda da entrada (*Entry Loss Coefficient*);
- Coeficiente de perda de saída (*Exit Loss Coefficient*);
- Média dos coeficientes de perda (*Average Loss Coefficient*);
- Válvula de retenção (*Flap gate*);
- Passagem hidráulica (*Culvert code*).

Conduit C76	
Property	Value
Name	C76
Inlet Node	N77
Outlet Node	N06
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.25
Length	32.77
Roughness	0.013
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0.2
Exit Loss Coeff.	1
Avg. Loss Coeff.	0.6
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	3

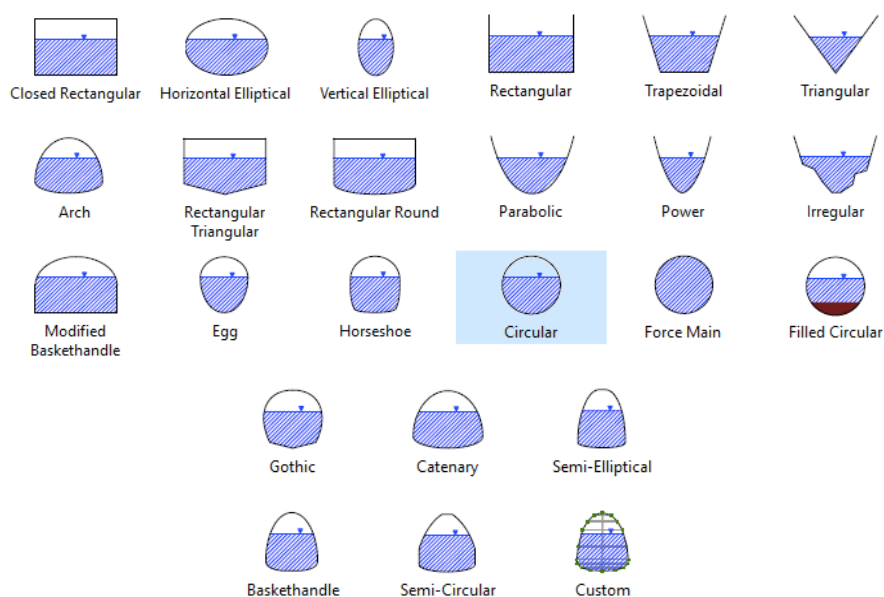
**Figura 26** - Interface do SWMM para inserir os parâmetros dos coletores.

#### Nó de entrada e nó de saída:

São os parâmetros que criam o percurso da água, são estes parâmetros que indicam onde começa e acaba a conduta (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Tipo de secção:

Refere-se à propriedade geométrica da seção transversal da conduta (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). Na figura 27 é possível perceber quais os tipos de secção existentes no SWMM.



**Figura 27** – Tipos de secção das condutas (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Altura máxima:

É a altura máxima da secção transversal (em metros). Sendo quase todas as condutas circulares a altura máxima é referente ao diâmetro de cada coletor (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Comprimento do coletor:

É, tal como o nome indica, o comprimento do coletor em metros (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Rugosidade:

É atribuída pelo coeficiente de *Manning*, que exprime o efeito da rugosidade num dado material. O coeficiente é dado conforme o tipo das condutas que podem ser fechadas ou a céu aberto (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015) – tabela 5 e 6.

**Tabela 5** - Coeficiente de *Manning* para condutas fechadas (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Material	Coeficiente de <i>Manning</i> (condutas fechadas)
Tubulação de cimento-amianto	0,011 - 0,015
Tijolo	0,013 - 0,017
Tubulação de ferro	0,011 - 0,015
Cimento forrado e revestido	0,011 - 0,015
<b>Betão (Monolítico)</b>	
• Forna lisa	0,012 - 0,014
• Forma rugosa	0,015 - 0,017
Tubulação de betão	0,011 - 0,015
<b>Tubulação de metal corrugado</b>	
• Liso	0,022 - 0,026
• Ranhuras inversas	0,018 - 0,022
• Revestimento asfáltico	0,011 - 0,015
Tubulação plástica (lisa)	0,011 - 0,015
<b>Cerâmico</b>	
• Tubos	0,011 - 0,015
• Chapas assembladas	0,013 - 0,017

**Tabela 6** - Coeficiente de Manning para condutas a céu aberto (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Tipo de canal	Coeficiente de <i>Manning</i> (condutas a céu aberto)
<b>Canais revestidos</b>	
• Asfalto	0,013 – 0,017
• Alvenaria	0,012 – 0,018
• Betão	0,011 – 0,020
• Enrocamentos ou pedregulhos	0,020 – 0,035
• Vegetal	0,030 – 0,40
<b>Escavado ou dragado</b>	
• Terra, reto e uniforme	0,020 – 0,030
• Terra, sinuoso, razoavelmente uniforme	0,025 – 0,040
• Rocha	0,030 – 0,045
• Sem manutenção	0,050 – 0,140
<b>Canais naturais (curso de água pequeno com largura máxima de inundação &lt;100 pés)</b>	
• Secção razoavelmente regular	0,030 – 0,070
• Secção irregular com represamento	0,040 – 0,100

Coeficientes de perda de entrada, saída e médio:

Referem-se respetivamente, ao coeficiente de perda de carga associado a perdas de energia na entrada da conduta, ao coeficiente de perda de carga associado a perdas de energia na saída da conduta e ao coeficiente de perda de carga associado a perdas de energia ao longo do comprimento da conduta respetivamente. O coeficiente de perda de energia nas saídas da conduta tem um valor padrão de 1 e o coeficiente de perda de energia na entrada da conduta depende do tipo de material – tabela 7 (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

**Tabela 7** - Coeficiente de perda de entrada da tubagem (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Material da estrutura	Coeficiente de perda de entrada
Tubo de betão	0,2
Metal corrugado ou betão autoclavado	0,2 a 0,7
Betão estrutural	0,2 a 0,7

Válvula de retenção:

Refere-se a uma válvula que abre e fecha e que tem como objetivo impedir o refluxo através da conduta. Tem duas opções:

- **YES** refere-se há existência de uma válvula para impedir o refluxo;
- **NO** refere-se há não existência de uma válvula (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Passagem hidráulica:

É o número de código da geometria de entrada, ou seja, representa a entrada e a saída da câmara de visita. Este código depende do tipo de geometria, projeção e material do tubo (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). A lista de códigos pode ser encontrada no anexo V.

**3.1.2.3. Pontos de descarga**

Os pontos de descarga são nós terminais do sistema de drenagem usados para definir os limites finais, ou seja, são as saídas do sistema para o meio recetor (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Os principais parâmetros de entrada definidos nos pontos de descarga foram:

- Cota da soleira (Invert Elevation);
- Tipo de descarga (*Type*).

A imagem seguinte representa a interface do SWMM com as características dos pontos de descarga.

Outfall SaídaFontedaPega	
Property	Value
Name	SaídaFontedaPega
X-Coordinate	912.401
Y-Coordinate	9019.903
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	5.65
Tide Gate	NO
Route To	
Type	NORMAL
Fixed Outfall	
Fixed Stage	0
Tidal Outfall	
Curve Name	*
Time Series Outfall	
Series Name	*

**Figura 28** - Interface do SWMM para inserir os parâmetros dos pontos de descarga.

Cota da soleira:



É referente à cota do fundo do ponto de descarga (m). Tal como nas caixas de visita esta é calculada da mesma forma, ou seja, fazendo a diferença entre a cota do terreno a que a tampa se encontrava e a altura medida (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Tipo de descarga:

É determinada pela altura do escoamento normal no coletor de conexão. Existem cinco tipos de descarga:

- **FREE:** determinado pelo mínimo de profundidade do escoamento crítico e profundidade de fluxo normal na conduta de conexão;
- **NORMAL:** tem como base a profundidade do escoamento normal na conduta de conexão;
- **FIXED:** definido como um valor fixo;
- **TIDAL:** fornecido por uma tabela de elevação da maré em função da hora do dia;
- **TIMESERIES:** fornecido a partir de uma série temporal (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### **3.1.2.4. Sub-bacias**

As sub-bacias são unidades hidrológicas cujos elementos do sistema de topografia e drenagem dirigem o escoamento superficial para um único ponto de descarga (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

A figura 29 é um exemplo da interface do SWMM de uma sub-bacia. Os parâmetros principais de entrada inseridos foram:

- Pluviómetro (*Rain Gage*);
- Saída (*Outlet*);
- Área da sub-bacia (*Area*);
- Largura da sub-bacia (*Width*);
- Percentagem de inclinação (*%slope*);
- Percentagem impermeável (*%Impervious*);
- Coeficiente de *Manning* em áreas impermeáveis e permeáveis (*N-Impervious* e *N-Pervious* respetivamente);
- Armazenamento em depressão nas áreas impermeáveis e permeáveis (*Dstorage-Impervious* e *Dstorage-Pervious*);
- Percentagem da área impermeável sem armazenamento (*%Zero-Impervious*);
- Tipo de escoamento (*Subarea Routing*);
- Infiltração (*Infiltration*).

Subcatchment S33

Property	Value
Name	S33
X-Coordinate	3857.609
Y-Coordinate	1756.522
Description	
Tag	
Rain Gage	Pluviómetro
Outlet	N53
Area	1.0042
Width	86.96
% Slope	13.8
% Imperv	0
N-Imperv	0.019
N-Perv	0.05
Dstore-Imperv	2.54
Dstore-Perv	5.08
%Zero-Imperv	0
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration	CURVE_NUMBER
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0

**Figura 29** - Interface do SWMM para inserir os parâmetros das sub-bacias.

#### Pluviómetro de entrada:

Refere-se ao pluviómetro que está conectado a cada sub-bacia (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Saída:

É o nome do nó ou de outra sub-bacia que recebe o escoamento (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Área da sub-bacia:

Área total de cada sub-bacia (hectares) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Largura da sub-bacia:

Largura característica da sub-bacia (metros) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Percentagem de inclinação:

Média da inclinação da sub-bacia (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Coeficiente de Manning em áreas impermeáveis e permeáveis:

Coeficiente de Manning para escoamento superficial na parcela da sub-bacia impermeável (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015) – tabela 8.

**Tabela 8** - Coeficiente de Manning para escoamentos à superfície livre (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Superfície	Coeficiente de Manning (escoamentos à superfície livre)
Asfalto liso	0,012
Superfície impermeável lisa	0,013
Pavimento de alcatrão e areia	0,014
Pavimento de betão	0,017
Superfície impermeável áspera	0,019
Solo liso	0,021
Solo moderado	0,030
Solo áspero	0,038
Solo de cascalho	0,032
Relva pobre	0,038
Relva média	0,050
Pasto	0,055
Terra com madeira	0,090
Relva densa	0,090
Arbustos	0,120
Zona comercial	0,022
Zona semi-comercial	0,035
Zona industrial	0,035
Zona residencial densa	0,040
Zona residencial suburbana	0,055
Parques e relvados	0,075

Armazenamento em depressão nas áreas impermeáveis e permeáveis:

Corresponde ao armazenamento da profundidade de depressão na parte impermeável ou permeável da sub-bacia (polegadas ou milímetros) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015) – tabela 9.

**Tabela 9** - Valores de armazenamento em depressão nas áreas impermeáveis e permeáveis para diferentes superfícies (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Superfícies impenetráveis	1,27 – 2,54 mm
Relva	2,54 – 5,08 mm
Pastagem	5,08 mm
Serrapilheira	7,62 mm

Porcentagem da área impermeável sem armazenamento:

Corresponde à área impermeável sem armazenamento, ou seja, à área edificada (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Tipo de escoamento:

Refere-se ao percurso interno do escoamento entre áreas permeáveis e impermeáveis (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

- **IMPERVIOUS**: escoamento a partir da área permeável para a área impermeável;
- **PERVIOUS**: escoamento a partir da área impermeável para a área permeável;
- **OUTLET**: escoamento a partir de ambas as áreas diretamente para uma saída da sub-bacia.

Infiltração:

É o fenómeno pelo qual a água da chuva penetra na zona não saturada do solo da área permeável da sub-bacia. O SWMM permite selecionar vários modelos de infiltração, no entanto a seleção do modelo é feita nas opções de simulação (ponto 3.1.1). No entanto, dependendo do método selecionado é necessário inserir parâmetros de entrada de infiltração das sub-bacias. Nos tópicos seguintes estão descritos os parâmetros de entrada pedidos em cada método de infiltração.

**Equação de Horton:** os parâmetros de entrada, necessários para este método, são as taxas de infiltração máxima e mínima (equivalente à condutividade hidráulica do solo saturado – tabela 10), o coeficiente de decaimento que descreve o quanto a infiltração decresce rapidamente ao longo do tempo (valores típicos variam entre 2 e 7) e o tempo necessário para secar totalmente um solo completamente saturado (valores típicos variam entre 2 a 14 dias) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015);

**Tabela 10** - Características de vários tipos de solo (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Classe do solo	Condutividade hidráulica do solo saturado (pol/hora)	Pressão da sucção (pol)	Porosidade (fração)	Capacidade de campo (fração)	Ponto mínimo de humidade (fração)
Areia	4,74	1,93	0,437	0,062	0,024
Arenoso Lemoso	1,18	2,40	0,437	0,105	0,047
Lemo Arenoso	0,43	4,33	0,453	0,190	0,085
Lemo	0,13	3,50	0,463	0,232	0,116
Lemo Franco	0,26	6,69	0,501	0,284	0,135
Lemo Arenoso Argiloso	0,06	8,66	0,398	0,244	0,136
Lemo Argiloso	0,04	8,27	0,464	0,310	0,187
Lemo Franco Argiloso	0,04	10,63	0,471	0,342	0,210
Argila Arenosa	0,02	9,45	0,430	0,321	0,221
Argila Franca	0,02	11,42	0,479	0,371	0,251
Argila	0,01	12,60	0,475	0,378	0,265

**Método Green-Ampt:** os parâmetros necessários são o valor do deficit inicial de humidade do solo, a condutividade hidráulica do solo e o potencial da frente húmida. Os valores

típicos para todos estes parâmetros podem ser encontrados na tabela 9 (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015);

**Método do SCS:** os parâmetros de entrada para este método são o número da curva, o tempo que leva um solo que está totalmente saturado a secar completamente (valores típicos variam entre 2 a 14 dias) e a condutividade hidráulica (sendo esta última propriedade preterida e não é usada) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). Portanto, tal como mostra a imagem seguinte, para definir este método de infiltração é necessário ter em conta duas propriedades: o número de curva e o tempo de secagem.

Property	Value
Curve Number	90.11
Conductivity	0.5
Drying Time	4

SCS runoff curve number

**Figura 30** - Interface do SWMM para inserir os parâmetros relativos ao método de infiltração.

Para obter um número de curva, é necessário perceber qual o tipo de solo hidrológico existente na área em estudo. Segundo o Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) existem quatro tipos de solos hidrológicos (A, B, C e D). Na tabela seguinte estão descritos os tipos de solos, bem como a sua respetiva condutividade hidráulica.

**Tabela 11** - Grupos de solo hidrológico e a sua respetiva condutividade hidráulica saturada (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Grupo de Solo Hidrológico	Descrição	Condutividade Hidráulica Saturada (in/ hora)
A	Potencial baixo de escoamento. A água é transmitida livremente pelo solo. Têm menos de 10% de argila e mais de 90% de areia ou cascalho e têm texturas de cascalho ou areia.	> 1,42
B	Potencial de escoamento moderadamente baixo. Transmissão de água através do solo é desimpedida. Têm tipicamente entre 10 % e 20 % de argila e 50 % a 90 % de areia e têm texturas de areia argilosa ou franco-arenosa.	0,57 – 1,42
C	Potencial de escoamento moderadamente alto. A transmissão de água pelo solo é um pouco restrita. Têm tipicamente entre 20 a 40 % de argila e menos de 50 % de areia e têm textura franco-argilosa, franco-argilo-arenosa ou franco-argilo-siltosa.	0,06 – 0,57
D	Alto potencial de escoamento. O movimento da água pelo solo é restrito ou muito restrito. Normalmente possuem mais de 40% de argila, menos de 50% de areia e texturas argilosas.	< 0,06

Após isto, foi necessário calcular o tempo de secagem através da seguinte equação:

$$T_{secagem} = \frac{3,125}{\sqrt{Ks}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que o Ks representa a condutividade hidráulica saturada do solo em polegadas por hora. O número de curva SCS é então calculado através da ajuda da seguinte tabela:

**Tabela 12** - Classes hidrológicas do solo segundo o NRCS (adaptado de U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Descrição do uso da terra	Classes hidrológicas do solo (NRCS)			
	A	B	C	D
<b>Terra cultivada</b>				
• Sem tratamento para conservação	72	81	88	91
• Com tratamento para conservação	62	71	78	81
<b>Pastagem</b>				
• Fraca condição	68	79	86	89
• Boa condição	39	61	74	80
<b>Campo</b>				
• Boa condição	30	58	71	78
<b>Floresta</b>				
• Densidade baixa, coberturas pobres, sem cobertura	45	66	77	83
• Boa cobertura	25	55	70	77
<b>Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitério, etc</b>				
• Cobertura de relva em 75% ou mais da área	39	61	74	80
• Cobertura da relva em 50-75% da área	49	69	79	84
Áreas comerciais (85% impermeáveis)	89	92	94	95
Áreas industriais (72% impermeáveis)	81	88	91	93
<b>Áreas residenciais</b>				
Tamanho médio do lote (% impermeável)				
• 0,05 ha ou menos (65%)	77	85	90	92
• 0,10 ha (38%)	61	75	83	87
• 0,13 ha (30%)	57	72	81	86
• 0,20 ha (25%)	54	70	80	85
• 0,40 ha (20%)	51	68	79	84
Estacionamento pavimentada, telhados, calçadas, etc	98	98	98	98
<b>Ruas e estradas</b>				
• Pavimentada com meio fio de drenagem	98	98	98	98
• Em cascalho	76	85	89	91
• Sujas	72	82	87	89

É de grande importância notar que para o método SCS, como é definido por um número de curva que relaciona as áreas impermeáveis e permeáveis, as percentagens impermeáveis da bacia, bem como as percentagens das áreas impermeáveis zero têm de ser consideradas zero (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

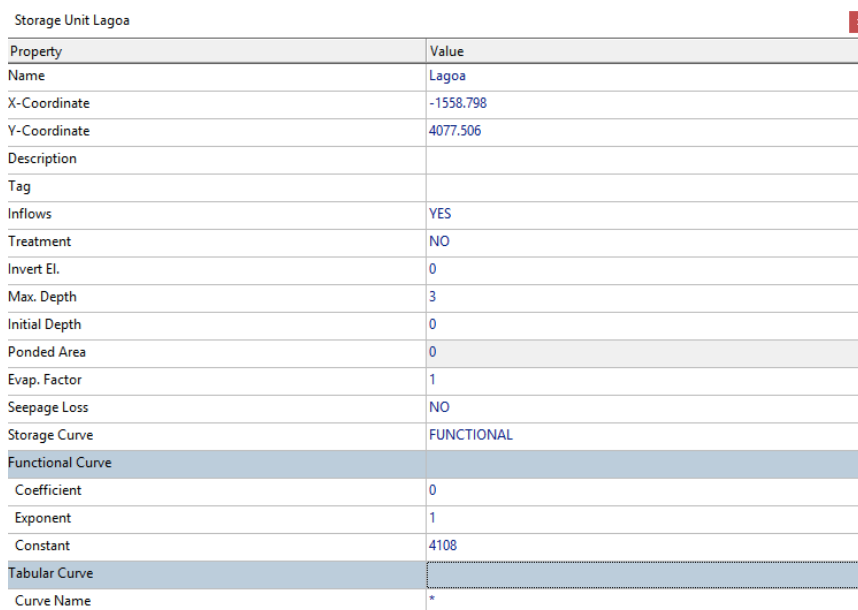
### 3.1.2.5. Unidades de armazenamento

Unidades de Armazenamento são nós do sistema de drenagem que fornecem um volume de armazenamento. Fisicamente, estas podem representar instalações de armazenamento tão pequenas quanto uma bacia ou tão grandes quanto um lago. Além de receber entradas e descarregar escoamentos para outros nós da rede de drenagem, as unidades de armazenamento também podem perder água através da evaporação e da infiltração (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Os principais parâmetros de entrada são:

- Cota de soleira (*Invert Elevation*);
- Profundidade máxima (*Maximum Depth*) da unidade de armazenamento;
- Profundidade inicial (*Initial Depth*);
- Fator de evaporação (*Evaporation Factor*);
- Tipo de curva de armazenamento (*Storage Curve*);
- Curva Funcional (*Functional Curve*).

Na imagem seguinte está a interface do SWMM relativo às unidades de armazenamento.



Property	Value
Name	Lagoa
X-Coordinate	-1558.798
Y-Coordinate	4077.506
Description	
Tag	
Inflows	YES
Treatment	NO
Invert El.	0
Max. Depth	3
Initial Depth	0
Ponded Area	0
Evap. Factor	1
Seepage Loss	NO
Storage Curve	FUNCTIONAL
Functional Curve	
Coefficient	0
Exponent	1
Constant	4108
Tabular Curve	
Curve Name	*

**Figura 31** - Interface do SWMM para inserir os parâmetros das unidades de armazenamento.

#### Cota de soleira:

Elevação do fundo da unidade de armazenamento (em metros) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Profundidade máxima:

Altura máxima da unidade de armazenamento (em metros) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Profundidade inicial:

Tal como o nome indica, é a profundidade inicial da água na unidade de armazenamento no início da simulação (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Fator de evaporação:

Relativo à fração da evaporação potencial da superfície da unidade de armazenamento que é realmente realizada (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Tipo de curva de armazenamento:

Método para descrever como a área da superfície da unidade de armazenamento varia com a profundidade da água, tem duas opções:

- **FUNCTIONAL**: usa a função  $\text{Área} = A \times (\text{Profundidade})^B + C$  para descrever como a área da superfície varia com a profundidade;
- **TABULAR**: usa uma área tabulada versus curva de profundidade (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015)..

Curva Funcional:

- **Coeficiente**: valor A na relação funcional entre a superfície e a profundidade da unidade de armazenamento;
- **Expoente**: valor B na relação funcional entre a superfície e a profundidade da unidade de armazenamento;
- **Constante**: valor C na relação funcional e a profundidade da unidade de armazenamento (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

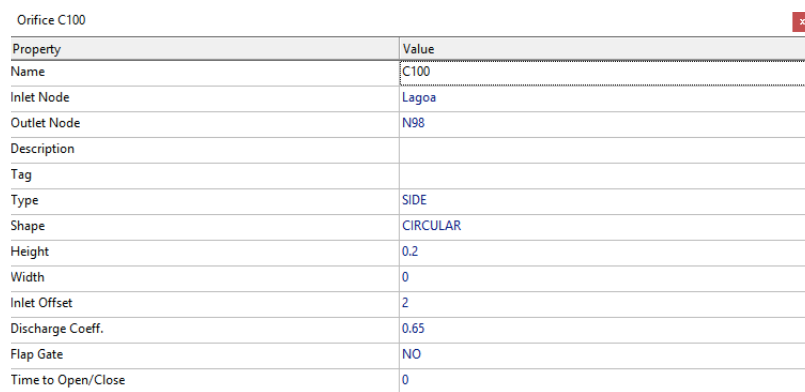
### 3.1.2.6. Orifícios

Os orifícios são usados para modelar estruturas de saída e desvio em sistemas de drenagem, que são tipicamente aberturas na parede de um poço de inspeção, instalação de armazenamento ou portão de controlo. Estes são representados internamente no SWMM como uma conduta que se conecta a dois nós. Um orifício pode ter uma forma circular ou retangular (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Os principais parâmetros de entrada dos orifícios são (figura 32):



- A forma (*Shape*);
- A altura (*Height*);
- A largura (*Width*);
- A cota do nó de entrada (*Inlet Offset*);
- Coeficiente de descarga (*Discharge Coefficient*);
- Válvula de retenção (*Flap gate*).



Property	Value
Name	C100
Inlet Node	Lagoa
Outlet Node	N98
Description	
Tag	
Type	SIDE
Shape	CIRCULAR
Height	0.2
Width	0
Inlet Offset	2
Discharge Coeff.	0.65
Flap Gate	NO
Time to Open/Close	0

**Figura 32** - Interface do SWMM para inserir os parâmetros dos orifícios.

#### Forma do orifício:

Pode ser **CIRCULAR** ou **RECT\_CLOSED**, tal como nas condutas (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Altura:

Refere-se como a altura da abertura do orifício quando totalmente aberta (em metros). Corresponde ao diâmetro de um orifício circular ou à altura de um orifício retangular (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Largura:

É a largura do orifício retangular quando totalmente aberto (em metros) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Cota do nó de entrada:

É a profundidade ou elevação do fundo do orifício acima do inversor do nó de entrada (em metros) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Coeficiente de descarga:

Tem um valor típico de 0,65 (sem unidade) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Válvula de retenção:

Existem duas opções, tal como explicado nas propriedades das condutas (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

### 3.1.2.7. Bombas

As bombas são objetos usados para elevar a água a cotas mais altas (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). Os principais parâmetros de entrada para uma bomba incluem (figura 33):

- Nomes dos nós de entrada e saída (*Inlet e Outlet Node* respetivamente);
- Nome da curva da bomba (ou para uma bomba Ideal) (*Pump Curve*);
- Estado inicial ligado / desligado (*Initial Status*);
- Profundidades ao começar e desligar a bomba (*Startup Depth e Shutoff Depth*).



The image shows a software window titled 'Pump BOMBA' with a close button in the top right corner. It contains a table with two columns: 'Property' and 'Value'. The properties listed are Name, Inlet Node, Outlet Node, Description, Tag, Pump Curve, Initial Status, Startup Depth, and Shutoff Depth. The values are BOMBA, Lagoa, 1, an empty field with a dropdown arrow, empty, Bomba, OFF, 3, and 1 respectively.

Property	Value
Name	BOMBA
Inlet Node	Lagoa
Outlet Node	1
Description	
Tag	
Pump Curve	Bomba
Initial Status	OFF
Startup Depth	3
Shutoff Depth	1

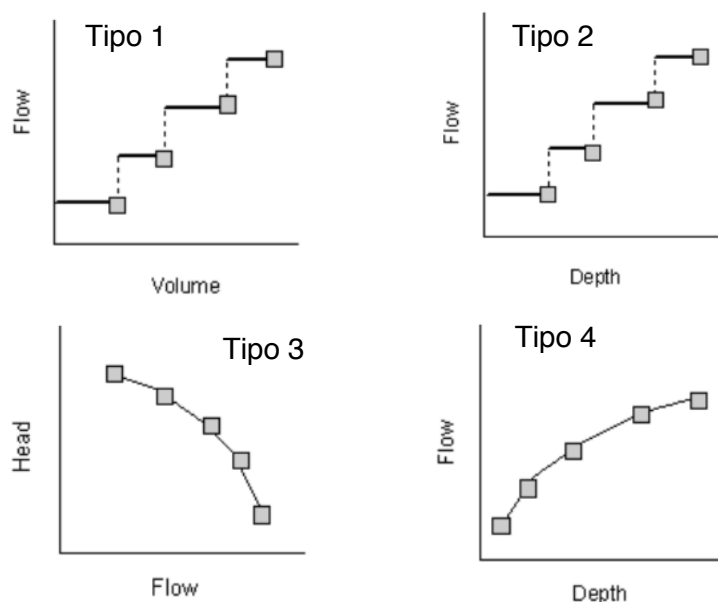
**Figura 33** - Interface do SWMM para inserir os parâmetros da bomba.

Curva de bomba:

A curva da bomba relaciona o escoamento através da bomba com a profundidade ou volume no nó a montante ou com a altura fornecida pela bomba (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). Esta curva pode ter quatro tipos (figura 34):

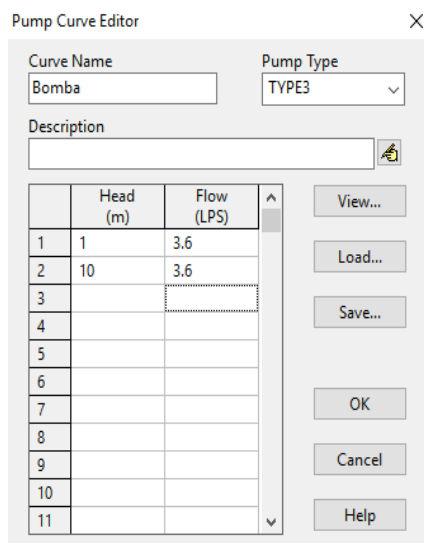
- **Tipo 1:** uma bomba *off-line* com um poço húmido onde o escoamento aumenta de forma incremental com o volume disponível do poço húmido;
- **Tipo 2:** uma bomba em linha onde o escoamento aumenta de forma incremental com a profundidade do nó de entrada;

- **Tipo 3:** uma bomba em linha onde o escoamento varia continuamente com a diferença de carga entre os nós de entrada e saída;
- **Tipo 4:** uma bomba em linha de velocidade variável onde o escoamento varia continuamente com a profundidade do nó de entrada (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).



**Figura 34** – Tipos da curva das bombas (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Além destes quatro tipos de curva da bomba, esta também pode ser uma bomba de transferência "ideal" cuja taxa de escoamento é igual à taxa de entrada no seu nó de entrada. Neste caso, nenhuma curva é necessária. A bomba deve ser a única ligação do escoamento de saída do seu nó de entrada. (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). A imagem seguinte é o exemplo da interface do SWMM relativo à curva da bomba.



**Figura 35** - Interface do SWMM relativo ao editor de curva da bomba.

#### Estado inicial:

Estado inicial da bomba, existem duas opções: **ON** (ligado) ou **OFF** (desligado)

#### Propriedades de ligar e desligar:

Profundidade no nó de entrada para a bomba ligar-se ou desligar-se (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Status ativado/desativado:

Pode ser controlado dinamicamente, especificando as profundidades de início e de fim da água no nó de entrada ou por meio de regras de controle definidas pelo usuário – figura 36 (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

```
Control Rules Editor

Rule MC1
IF SIMULATION TIME > 3672
AND SIMULATION TIME < 4416
OR SIMULATION TIME > 5856
THEN PUMP BOMBA STATUS = ON
ELSE PUMP BOMBA STATUS = OFF
```

**Figura 36** - Interface do SWMM relativo ao editor de regras de controle.

### 3.1.2.8. Pluviômetro

Os pluviômetros fornecem dados de precipitação para uma ou mais sub-bacias da região em estudo (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). A figura 37 é um exemplo da janela do SWMM relativamente ao pluviômetro.

Property	Value
Name	Pluviômetro
X-Coordinate	-1008.511
Y-Coordinate	7747.279
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:10
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	1Hora
DATA FILE:	
- File Name	*
- Station ID	*
- Rain Units	IN

**Figura 37** - Interface do SWMM para inserir os parâmetros do pluviômetro.

As principais propriedades de entrada dos pluviômetros incluem:

- Formato da chuva (*Rain Format*);
- Intervalo de tempo (*Time Interval*);
- Fonte de dados (*Data Source*);
- Nome da série temporal (*Series Name*).

#### Formato de chuva:

- **INTENSITY**, ou seja, refere que cada valor de precipitação é uma taxa média em polegada/hora (ou mm/hora) durante o intervalo de gravação;
- **VOLUME**: cada valor de precipitação é o volume de chuva que caiu no intervalo de gravação (em polegadas ou milímetros);
- **CUMULATIVE**: cada valor de precipitação representa a precipitação cumulativa que ocorreu desde o início da última série de valores diferentes de zero (em polegadas ou milímetros) (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

#### Intervalo de tempo:

Refere-se ao tempo de gravação entre leituras de medição em horas decimais ou horas no formato de minutos. Este intervalo de tempo varia conforme a série de precipitação (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Fonte de dados:

Fonte de dados pluviométricos, pode ser em:

- **TIMESERIES** para dados de série temporal fornecidos pelo usuário;
- **FILE** para um arquivo de dados externo (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Nome da série temporal:

É o nome dado à série criada (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

### 3.1.3. Dados de climatologia

O editor de climatologia é usado para inserir valores para várias variáveis relacionadas ao clima (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015). A caixa de diálogo é dividida em seis páginas com guias, onde cada página fornece um editor separado para uma categoria específica de dados climáticos, tais como a evaporação (*Evaporation*), a velocidade do vento (*Wind Speed*), temperatura (*Temperature*), degelo (*Snow Melt*) e depleção aérea (*Areal Depletion*) – imagem 38.

**Left Window: Evaporation**

Source of Evaporation Rates: Monthly Averages

Monthly Evaporation (mm/day)

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
1.890	2.152	2.826	2.983	2.735	2.877

Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2.739	2.648	2.530	2.203	1.833	1.906

Monthly Soil Recovery Pattern (Optional): [Dropdown]

☐ Evaporate Only During Dry Periods

**Right Window: Wind Speed**

☐ Use Climate File Data (see Temperature Page)

☒ Use Monthly Averages

Monthly Average Wind Speed (km/hr)

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
8.4	9.3	10.5	12.0	11.8	11.4

Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
11.1	10.4	9.2	8.4	8.2	9.1

**Figura 38** - Interface do SWMM para inserir os valores relativos à evaporação (à esquerda) e velocidade do vento (à direita).

## 3.2. Apresentação e aplicação do SWMM ao Campus de Santiago

Neste ponto apresenta-se o caso de estudo deste projeto bem como todos os valores aplicados de todos parâmetros anteriormente descritos referentes ao Campus de Santiago.

### 3.2.1. Apresentação do caso de estudo

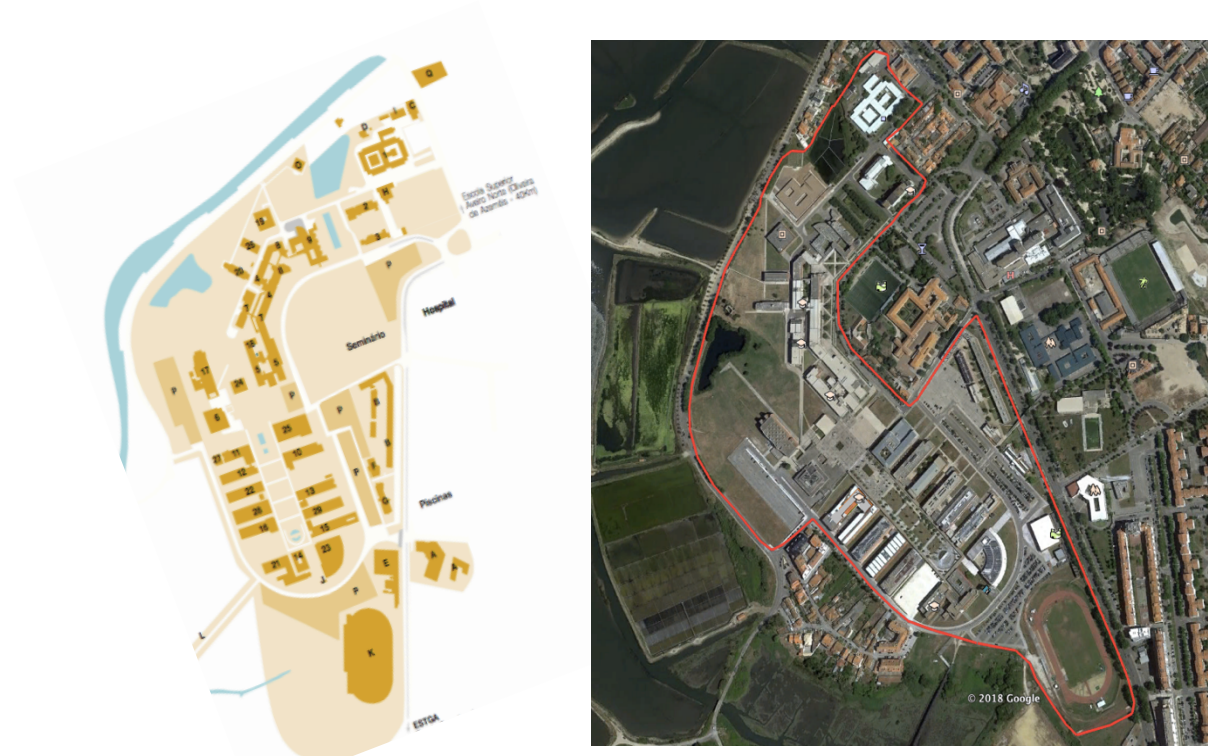
O presente projeto tem como caso de estudo o Campus Universitário de Santiago, pertencente à Universidade de Aveiro (UA) – figura 39. Esta foi inaugurada em 1973 e trata-se de um estabelecimento de ensino público superior com cerca de 15.000 alunos. (Universidade de Aveiro, 2014)

O Campus Universitário de Santiago representa a maior parte da área da UA e situa-se entre a zona lagunar das salinas e o centro da cidade. A área do Campus é aproximadamente ao equivalente a 363.658 m<sup>2</sup> e tem a característica de se parecer como uma pequena cidade, pois é contemplado com espaços naturais e cerca de 65 edifícios (ensino, investigação, de apoio administrativo e técnico, residências, cantinas, bares, farmácia, banco, correios, bibliotecas, livraria, papelaria, centro de saúde universitário, complexo desportivo, jardim infância e creche, entre outros) (Universidade de Aveiro, 2014).



**Figura 39** – Campus Universitário de Santiago, Universidade de Aveiro.

A delimitação do Campus Universitário de Santiago está na figura 40, e esta é a zona em que foi aplicado este estudo.

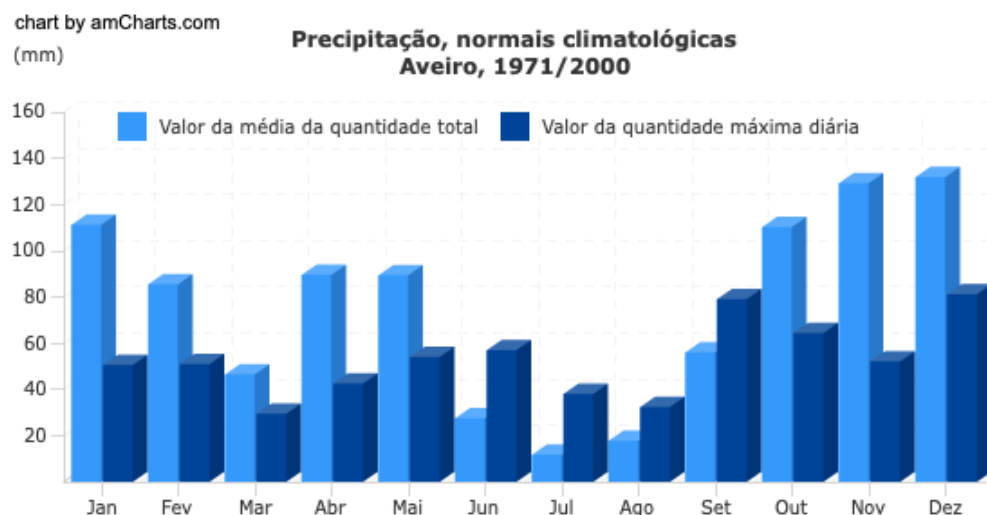


**Figura 40** - Mapa do Campus Universitário de Santiago (Universidade de Aveiro, 2014). e a sua localização.

Como o caso de estudo deste trabalho se situa na cidade de Aveiro, torna-se relevante uma análise da climatológica do local em estudo. O distrito de Aveiro tem uma característica mediterrânica intercalada, isso quer dizer que apresenta períodos quentes e secos, que provoca a falta de disponibilidade de água para os diversos consumos (Tavares, 2013). Tavares, 2013 também descreve esta região como um clima pouco húmido, temperado, com défice de água moderado no verão e eficácia térmica no verão nula ou pequena, ou seja, o inverno tem muito mais pluviosidade que o verão.

O gráfico seguinte retrata a precipitação média e máxima de cada mês entre 1971 a 2000. De acordo com a figura 41 os meses com maior precipitação média vão de outubro até janeiro.





**Figura 41** - Precipitação Média total e precipitação máxima diária em Aveiro, no período de 1971 e 2000 (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2010).

Segundo a normal climatológica de 1971 a 2000 da região de Aveiro, a temperatura média diária é maior no mês de agosto (com 20,2°C) e mais baixa em janeiro (10,2°C), sendo que a temperatura média anual é de cerca de 15,4°C.

Relativamente à precipitação média total, esta tem um valor médio anual de 906,7 mm, sendo que é no mês de dezembro que existe mais precipitação (131,9 mm) e o mês de julho com menor quantidade de chuva (11,8 mm) – como se pode verifica na figura 41.

No que se refere à evaporação, Aveiro tem uma evaporação média anual de 892,9 mm, sendo que novembro é o mês com uma evaporação menor (55 mm), e abril o mês com maior evaporação (89,5 mm).

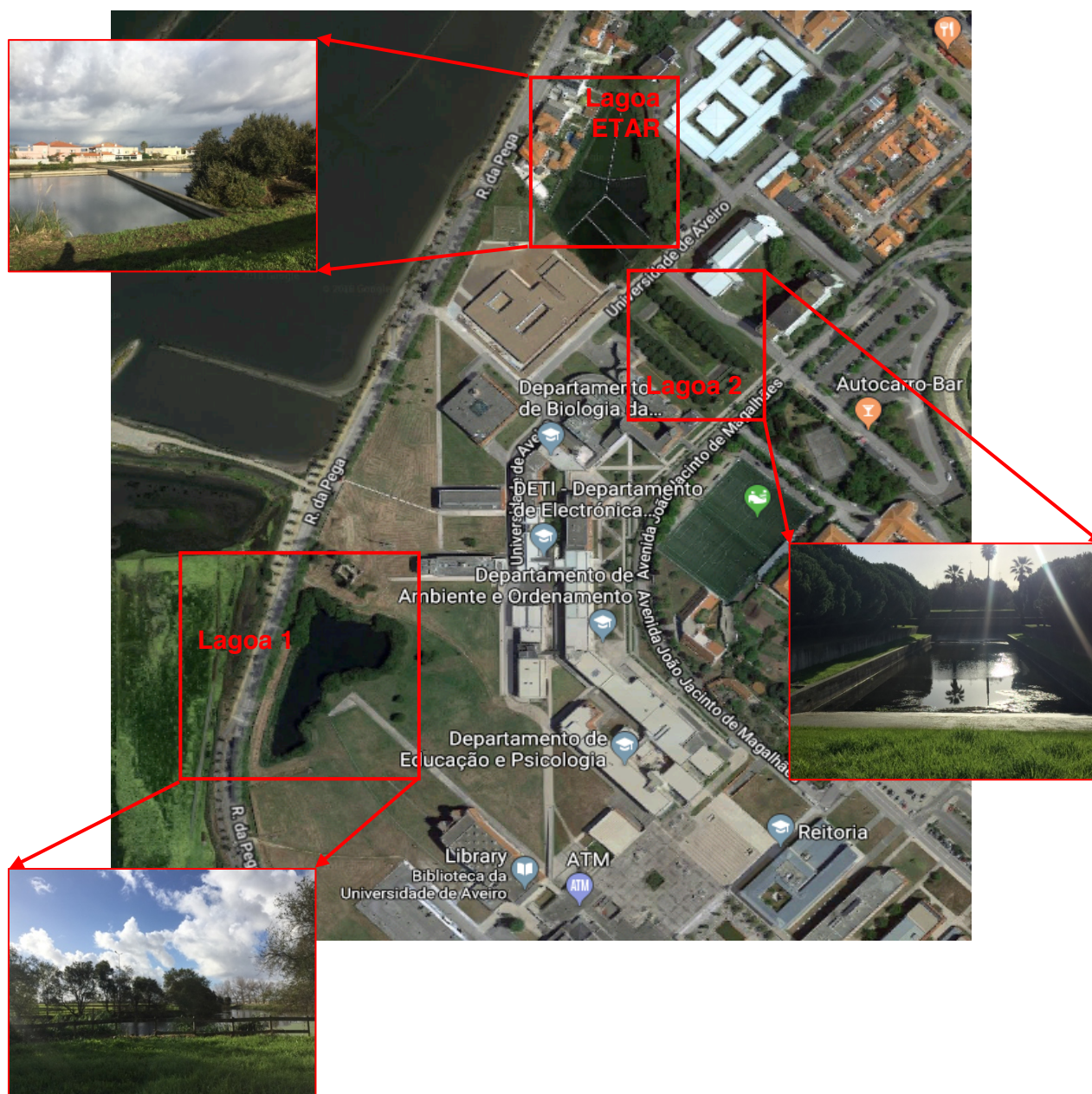
A cidade de Aveiro, não tem grandes problemas a nível de drenagem urbana. Assim, a gestão de águas pluviais não é uma prioridade para os responsáveis de planeamento urbano. Ainda não é valorizada a eficiência hídrica de modo a resolver os problemas de drenagem urbana, bem como a escassez e deterioração da qualidade da água (Fernandes, 2010). Contudo existem alguns pontos críticos: as imagens seguintes são exemplos dos problemas de drenagem de águas pluviais existentes no Campus de Santiago.



**Figura 42** – Fotografias tiradas dentro do Campus em meses de mais precipitação.

O Campus de Santiago também é afetado por este problema (Ferreira, 2017). Sendo o Campus bastante grande, este estudo foca-se na condução das águas pluviais até aos pontos de descarga, incluindo as três lagoas. A figura 43 mostra a localização de cada lagoa existente no Campus.





**Figura 43** – Localização da lagoa de armazenamento de águas pluviais do Campus (Google, 2018)

A lagoa 1, atualmente é a única que recebe águas da chuva provenientes do sistema de drenagem de águas pluviais do Campus. A lagoa 2, é uma lagoa que não tem ligação aos coletores de águas pluviais do Campus, tratando-se assim de um tanque que enche quando existe grandes chuvadas. A lagoa ETAR é uma lagoa onde são enviadas as águas residuais do Campus e por onde estas passam por processos de tratamento naturais que levam a uma purificação das suas águas. As dimensões das lagoas encontram-se na tabela seguinte. É de notar que as profundidades medidas na tabela seguinte foram usadas para as simulações com o SWMM.

**Tabela 13** - Dimensões das três lagoas existentes no Campus de Santiago.

Lagoas	Área (m <sup>2</sup> )	Profundidade máxima (m)	Profundidade inicial (m)
Lagoa 1	4108	3	1,5
Lagoa 2	1000	2	0
Lagoa ETAR	5051	1	0

Além das três lagoas, o Campus da UA já têm algumas medidas LID aplicadas (figura 45). São elas:

- 1) Edifício da robótica construído com uma cobertura verde;
- 2) SAAP existente no edifício CCCI (Complexo das Ciências da Comunicação e Imagem).
- 3) Edifício de Engenharia Civil, onde se encontra um SAAP para uso no laboratório de hidráulica.

**Figura 45** - Medidas LID que já foram aplicadas no Campus de Santiago.

Tendo todas as informações relativas ao caso em estudo e também relativas às definições e funcionamento do SWMM foi possível definir e calcular todas as propriedades de forma a construir o modelo de águas pluviais. Os pontos seguintes retratam toda a preparação, cálculos e dados inseridos.

### **3.2.2. Preparação de dados em ArcGis**

Neste ponto da metodologia recorreu-se a duas ferramentas de informação geográfica – *ArcGis* e *Google Earth Pro*.

O *ArcGIS* é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que fornece ferramentas contextuais para a criação de mapas e o raciocínio espacial para a exploração de dados e partilha de conhecimentos baseados na localização (ArcGis, 2018).

O *Google Earth Pro* é um programa de computador cuja função é apresentar um modelo tridimensional do planeta Terra que permite o acesso a imagens aéreas, dados de rua, imagens panorâmicas do Street View, imagens históricas e pontos de interesse. Além disso, o *Google Earth Pro* oferece ferramentas e capacidades projetadas, tais como:

- Imprimir capturas de ecrã em alta resolução;
- Mapear grandes conjuntos de dados de SIG;
- Medir a área de polígonos ou círculos,
- Entre outros.

Para a preparação de dados em *ArcGis* foi necessário começar por obter uma imagem de satélite da área em estudo com alta resolução; para isso utilizou-se a *Google Earth Pro* (figura 46). Após isto, os Serviços de Gestão Técnica e Logística da Universidade de Aveiro (SGTL) forneceram um ficheiro com a rede de águas pluviais do Campus (traçado das condutas e localização de sargetas e caixas de visita).

Com estes dois pontos, foi possível sobrepor a imagem de satélite com essa rede georreferenciando-as usando as ferramentas disponíveis no *ArcGis*, resultando no mapa da figura 46, em que os pontos vermelhos correspondem às tampas de águas pluviais e sargetas e as linhas amarelas aos coletores de águas pluviais. É de referir que o mapa foi utilizado para ajuda da localização da rede de drenagem de águas pluviais no terreno.





**Figura 46** – Campus Universitário de Santiago e a sua rede de drenagem de águas pluviais.

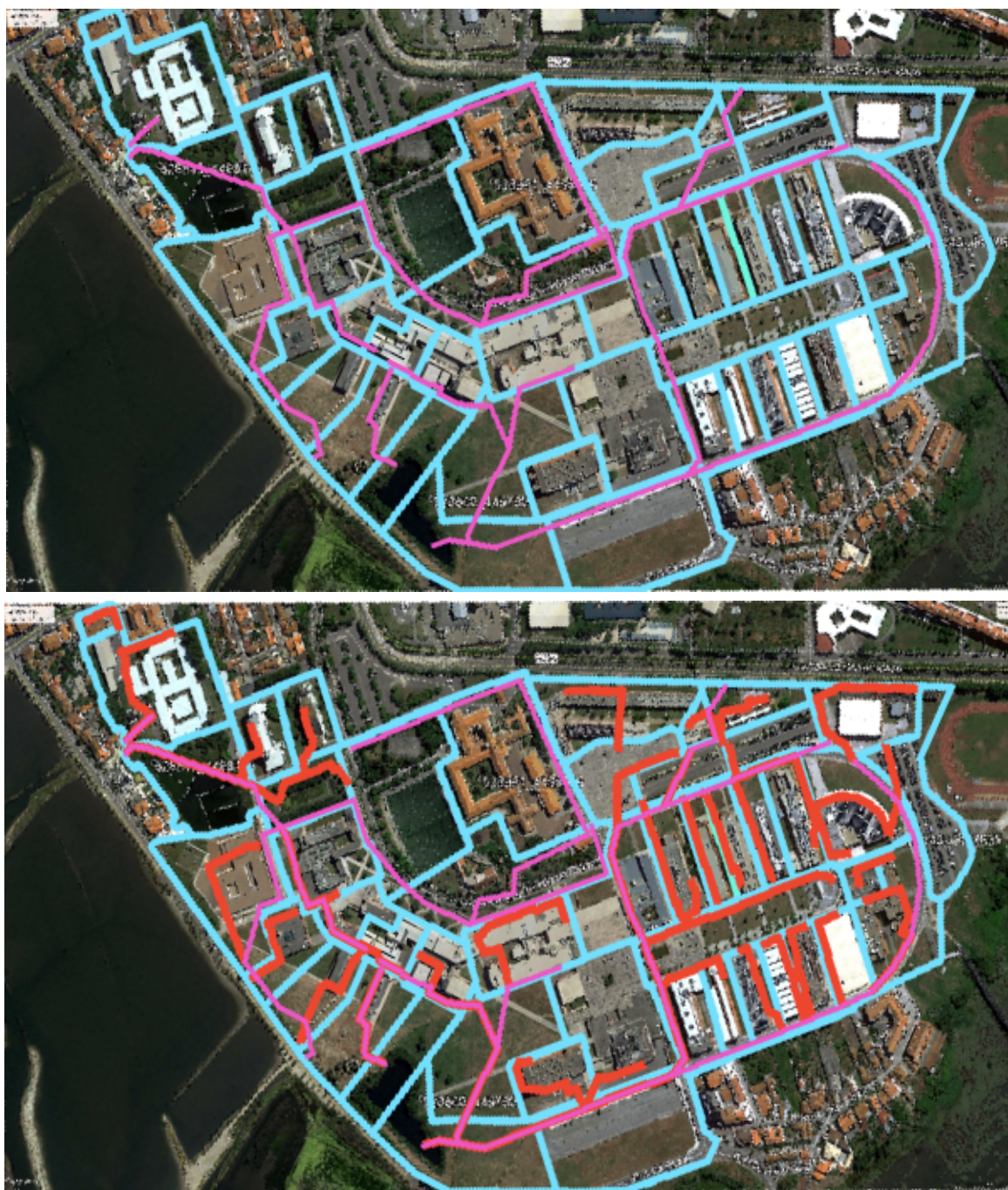
Seguidamente foi necessário delimitar bacias, onde se começou por delimitar as zonas que estavam ligadas a cada saída do sistema. Após isto, delimitou-se dentro destas bacias, outras mais pequenas (chamadas de sub-bacias) correspondentes à rede existente de drenagem de cada edifício/departamento e respetivos arruamentos delimitando-se de forma a que a área não ultrapassasse mais de 20 000 m<sup>2</sup> (linhas azuis claras) – figura 47.



**Figura 47** – Em cima: bacias correspondes a cada saída da rede; em baixo: sub-bacias correspondentes à rede de drenagem dos edifícios e arruamentos.



Após as sub-bacias criadas e com o mesmo método desenhou-se as condutas (coletores) principais, ou seja, as linhas com maior importância e significância do caso de estudo, e também as linhas que ligavam cada sub-bacia a essa rede de coletores principal, resultando na imagem em baixo. Na figura 48, as linhas roxas representam o conjunto de coletores mais importantes, ou seja, a rede de águas pluviais principal e a vermelho estão traçados os coletores que ligam cada sub-bacia a essa rede principal.



**Figura 48** – Em cima: rede de coletores principal do Campus e em baixo: coletores de ligação das sub-bacias à rede principal.

Além das sub-bacias e coletores desenhados, também foi necessário criar pontos que representam as caixas de águas pluviais que coincidem com a rede de drenagem principal anteriormente traçada. Desta forma conseguiu-se criar um mapa de base (figura 49) para ser utilizado no SWMM de forma a facilitar o seu desenho.

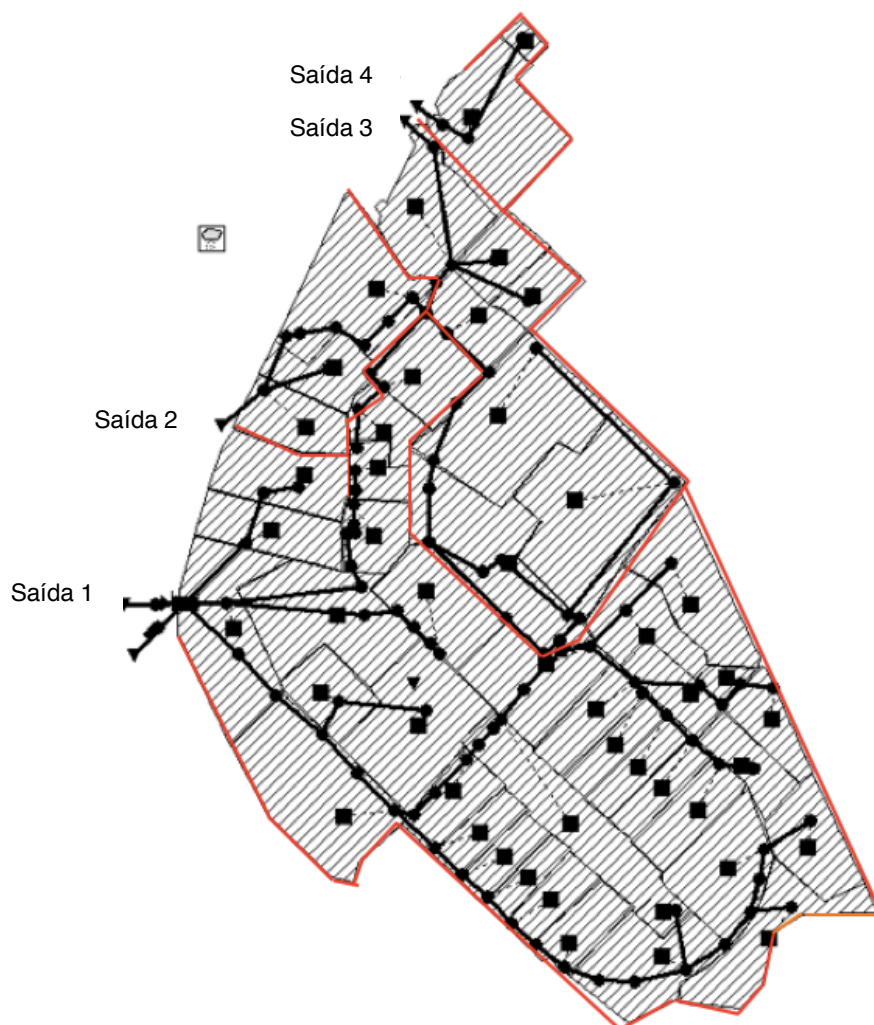


**Figura 49** – Mapa da rede de drenagem de águas pluviais final criado no ArcGis.

### 3.2.3. Aplicação do SWMM ao Campus de Santiago

Para criar um projeto no SWMM foi necessário, primeiramente desenhar a rede de águas pluviais do Campus de Santiago. Para isso utilizou-se a figura 49 como mapa de base sendo desta forma possível obter a representação esquemática do caso em estudo no SWMM (figura 50).





**Figura 50** – Desenho da rede de águas pluviais do caso de estudo no SWMM.

Seguidamente, inseriu-se os parâmetros relativos a quase todos os componentes do programa explicados no ponto 3.1 deste capítulo.

Opções de simulação:

**Modelos de processo:** os modelos de processo selecionados foram a chuva e o *runoff* e a propagação do escoamento (*flow routing*).

**Método de infiltração:** o método usado neste caso de estudo foi o método de Número da Curva (SCS) pois é o mais indicado para simular a água que vai para a lagoa e o desempenho de áreas verdes no sistema.

**Modelo de propagação:** neste caso de estudo foi selecionado o modelo de onda dinâmica.

**Diversos:** não se selecionou nenhum parâmetro.

**Datas:** dependem do tempo de simulação. Para este caso de estudo foram feitas quatro simulações: ano hidrológico médio, chuvoso seco e uma simulação para um evento de precipitação intensa (com duração de 1 hora). Na tabela seguinte encontram-se as datas relativas a cada simulação.

**Tabela 14** - Datas de início e fim da análise, data de início do relatório para cada simulação.

	<b>Data (mês/dia/ano)</b>	<b>Tempo (horas:minutos)</b>
<b>Ano médio</b>		
Início da análise	10/01/1993	09:00
Data de início do relatório	10/01/1993	09:00
Fim da análise	09/30/1994	09:00
<b>Ano chuvoso</b>		
Início da análise	10/01/1997	09:00
Data de início do relatório	10/01/1997	09:00
Fim da análise	09/30/1998	09:00
<b>Ano seco</b>		
Início da análise	10/01/1988	09:00
Data de início do relatório	10/01/1988	09:00
Fim da análise	09/30/1989	09:00
<b>Precipitação intensa</b>		
Início da análise	03/01/2018	00:00
Data de início do relatório	03/01/2018	00:00
Fim da análise	03/01/2018	01:00

**Passo de tempo do relatório:** para a série de precipitação com 1 hora, optou-se por um intervalo de tempo do relatório de 5 minutos para, desta forma, é possível analisar os resultados para este curto período. No entanto para as séries temporais correspondentes a um ano hidrológico escolheu-se 1 hora para o passo de tempo do relatório.

**Passo de tempo do escoamento em período chuvoso:** para a série temporal de 1 hora o passo de tempo chuvoso escolhido foi de 1 minuto e para um ano hidrológico foi de 1 hora.

**Passos de tempo do escoamento em período seco:** neste caso utilizou-se um passo de tempo seco de 10 minutos referente à serie temporal de 1 hora e um passo de tempo seco de 1 dia para um ano hidrológico.

**Passo do tempo de propagação:** para uma série temporal de 1 hora usou-se o passo de tempo de propagação de 30 segundos e para uma série temporal de um ano hidrológico, usou-se um passo de tempo de propagação de 6 segundos. Estes valores permitem simulações com resultados coerentes.

**Opções do modelo de onda dinâmica:** relativamente aos termos de inércia foi escolhida a opção DAMPEN. No que se refere ao escoamento super crítico foi escolhida a opção mais recomendada que é o escoamento super crítico tanto pela inclinação da superfície da água como pelo número de *Froude*. A equação de perda de carga selecionada neste caso

de estudo foi a equação de de *Darcy-Weisbach*, sendo que para este tipo de estudo não tem grande importância, visto que nesta simulação o escoamento nas condutas é de superfície livre (Fórmula de *Manning*).

#### Nós:

**Cota da soleira:** como nos dados fornecidos pelos SGTL não se encontravam estes valores, foi necessário durante as saídas de campo, medir a altura do coletor até ao terreno em todas as caixas de visita abertas,. Em certos casos, não foi possível abrir todas as tampas de águas pluviais porque algumas encontravam-se enterradas em jardins e outras eram difíceis ou impossíveis de conseguir destampar. Para estes casos foram feitas interpolações utilizando o declive médio das condutas. Estas medidas encontram-se no anexo II;

**Profundidade da soleira:** valores em anexo II;

**Altura da sobrecarga:** para este parâmetro deu-se um valor aproximado para todas as caixas de 0,08 metros. Este valor foi calculado através da área da tampa da caixa de visita, onde assumindo uma força de 30 Kgf, foi possível calcular a pressão de água e consequentemente a altura de água necessária para ser possível levantar a tampa;

**Área alagada:** neste projeto, a zona das bermas das estradas mais próximas de cada caixa de visita foi medida usando o *ArcGis*, sendo esta zona correspondente à área alagada – valores indicados no anexo II.

#### Condutas:

**Tipo de secção:** neste caso de estudo todas as condutas foram consideradas circulares, exceto a conduta de saída da lagoa (C71) que foi considerada uma conduta retangular aberta, pois esta saída é uma vala aberta;

**Altura máxima:** sendo quase todas as condutas circulares a altura máxima é referente ao diâmetro de cada coletor. Estes dados foram fornecidos pelos SGTL, mas sofreram algumas correções em alguns pontos nas saídas de campo – anexo III;

**Comprimento:** este parâmetro foi determinado com o auxílio do *ArcGis*, que após o desenho das linhas (condutas) mediu-se o seu comprimento utilizando a ferramenta *measure* - anexo III;

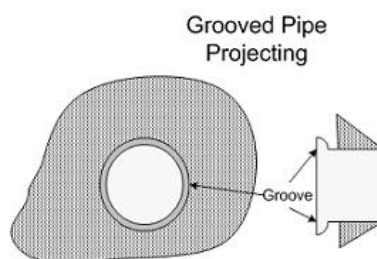
**Rugosidade:** através das saídas de campo foi possível visualizar o tipo de material das condutas e estas eram quase todas de betão, portanto o material escolhido foi o betão para condutas fechadas (tabela 5) sendo que o valor escolhido está entre os 0,011 e 0,015 logo

optou-se por considerar uma média entre estes dois valores (0,013). Contudo, e como já referido anteriormente, a conduta de saída da lagoa tem uma rugosidade diferente pois é uma vala (com vegetação) a céu aberto, logo usando a tabela 6 e o mesmo método determinou-se que o coeficiente de *Manning* para canais abertos e vegetação seria de 0,07.

**Coeficientes de perda de entrada, saída e médio:** o coeficiente de entrada da conduta escolhido foi de 0,2 pois o tipo de tubo considerado foi de betão (tabela 7);

**Válvula de retenção:** apenas nas condutas de ligação à lagoa (C77 e C78) é que se utilizou a opção *YES* (ou seja, em que existe uma válvula de retenção);

**Passagem hidráulica (*Culvert Code*):** foi escolhido o código número 3 pois é referido aos tubos de betão circulares e a sua projeção é conforme a figura a baixo (anexo V).



**Figura 51** – Tipo de projeção dos coletores circulares para o caso de estudo (AquaVeo, 2018).

Para a conduta relativa à saída da lagoa, o *culvert code* escolhido foi de 9, ou seja, foi considerado uma caixa retangular com as paredes entre os 30-75 graus.

Pontos de descarga:

**Cota da soleira:** valores em anexo II;

**Tipo de descarga:** foi considerada *NORMAL*, ou seja, a descarga é determinada pela altura do escoamento normal no coletor de conexão.

Sub-bacias:

**Pluviómetro:** neste projeto todas as sub-bacias estão ligadas ao meu mesmo pluviómetro pois trata-se de uma área relativamente pequena.

**Área da sub-bacia:** este parâmetro foi medido com a ajuda de ferramentas no *ArcGis* (valores descritos no anexo I);

**Largura da sub-bacia:** este parâmetro foi calculado pela divisão da área total da sub-bacia pela média dos três comprimentos máximos que vão desde o ponto mais afastado até ao ponto de entrada no coletor (*overland flow*) – anexo I;

**Percentagem de inclinação:** para este parâmetro foi necessário determinar a área impermeável e permeável de cada bacia, estas áreas foram calculadas através do *ArcGis*. A área impermeável de pavimentação tem 20% de inclinação e a área permeável tem 2% - ver valores para cada sub-bacia descritos no anexo I;

**Coeficiente de *Manning* em áreas impermeáveis e permeáveis:** para o Coeficiente de *Manning* em áreas impermeáveis o valor utilizado foi de 0,019 corresponde a uma superfície impermeável áspera e o valor utilizado para o Coeficiente de *Manning* em áreas permeáveis foi de 0,05 que corresponde a uma cobertura de relva média (tabela 8).

**Armazenamento em depressão nas áreas impermeáveis e permeáveis:** recorrendo à tabela 9 retirou-se os valores máximos: 0,1 polegadas (2,54 mm) correspondente às superfícies impermeáveis e 0,2 polegadas (5,08mm) correspondente às superfícies permeáveis.

**Ligação de escoamento:** neste caso foi escolhida a opção *OUTLET* pois indica que o escoamento flui de ambas áreas diretamente para a saída.

**Infiltração:** como já referido anteriormente, o método de infiltração escolhido foi o método SCS (*Soil Conservation Service*). O facto de também na área em estudo haver bastantes áreas verdes faz com que o método seja bastante adequado. Para este método de infiltração foram necessários inserir dois parâmetros de entrada conforme já referido anteriormente - número da curva e o tempo de secagem.

Para definir um número de curva foi necessário perceber o tipo hidrológico de solo existente na zona de estudo (tabela 11). O tipo de solo da região de Aveiro é o tipo de solo B, portanto, foi este o tipo hidrológico de solo escolhido para o caso em estudo pois este situa-se dentro da região de Aveiro (Lecastre e Franco, 2010).

Com o tipo de solo, foi possível retirar os valores de número de curva utilizando os valores da tabela 12. Para as áreas impermeáveis a opção foi usar o valor indicado para estacionamentos pavimentados, telhados, calçadas, etc (que é 98) e no que se refere às áreas permeáveis utilizou-se o valor 69 que segundo a tabela 12 indica espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc a uma condição razoável, ou seja com uma cobertura de relva em 50-75% da área. Estes valores foram relacionados com a área permeável e impermeável de cada sub-bacia, resultando nos valores do anexo I referentes ao *Curve Number* médio em cada sub-bacia.

O tempo de secagem foi calculado através da equação 1, utilizando os valores de condutividade hidráulica ( $k_s$ ) correspondentes ao tipo de solo hidrológico B da tabela 11 - 0,57 in/hr. Desta forma, o tempo de secagem calculado foi de aproximadamente de 4 dias, estes valores foram usados de igual forma para todas as bacias, pois o tipo de solo é igual em toda a área de estudo;

**Percentagem da área impermeável sem armazenamento:** devido ao método de infiltração (SCS) que é definido por um número de curva que relaciona as áreas impermeáveis e permeáveis, as percentagens impermeáveis da bacia, bem como as percentagens das áreas impermeáveis zero são consideradas zero para todas as sub-bacias, uma vez que o seu efeito foi considerado no *curve number* médio calculado (U.S. Environmental Protection Agency et al., 2015).

Unidades de armazenamento:

**Cota da soleira:** valores representados no anexo II.

**Profundidade máxima e inicial:** descritos na tabela 13.

**Fator de evaporação:** utilizou-se o fator de evaporação 1.

**Tipo de curva de armazenamento:** utilizou-se a opção *FUNCTIONAL*.

**Curva funcional:** neste parâmetro foi inserido um valor constante que é relativo à área da unidade de armazenamento. Este valor foi obtido através das medições das áreas das lagoas recorrendo ao *ArcGis* usando a ferramenta de medição.

Orifícios:

**Forma do orifício:** existe apenas um orifício para representar a saída da lagoa, neste caso escolheu-se a forma CIRCULAR, tal como nas condutas.

**Altura, largura, cota do nó de entrada:** ver anexo III.

**Coeficiente de descarga:** valor típico de 0,65.

**Válvula de retenção:** o orifício existente não contém nenhuma Válvula de retenção.

Bombas:

**Curva da bomba:** para este caso de estudo, o tipo escolhido foi o tipo 3. Tendo-se formulado uma curva de bomba conforme as necessidades de rega da área de relva, resultando na tabela seguinte.

**Tabela 15** - Curva da bomba para as diferentes áreas de rega.

Altura (m)	Escoamento (Litros Por Segundo - LPS)	
	Para área verde total do Campus	Para área correspondente á rega do poço
1	3.35	0,31
10	3.35	0,31

**Estado inicial:** desligado (OFF), pois pretende-se que a bomba trabalhe nos meses mais críticos, ou seja os meses onde houve menos precipitação. Isto é, a bomba irá retirar água da lagoa nos meses de verão que são os meses mais secos e quando é necessário regar os relvados da Universidade. Sendo que a simulação é para um ano hidrológico, ou seja, começa em outubro, a bomba terá de iniciar desligada.

**Propriedades de ligar e desligar:** a bomba irá ligar quando as lagoas atingirem a sua altura máxima. Sendo que também foi definida uma condição de profundidade para a bomba desligar.

**Tabela 16** - Condição de arranque e de paragem das bombas.

Bomba	Profundidade ao ligar	Profundidade ao desligar
1	3	1,5
2	2	0
ETAR	1	0

É de realçar, que a bomba 1 foi definida com uma condição de paragem (profundidade ao desligar) de 1,5 metros, pois a lagoa deve manter um nível mínimo de cerca de 1,5 metros de altura.

**Status ativado/desativado:** neste caso, além de a bomba ligar e desligar conforme a profundidade da lagoa, também foi necessário criar uma regra de controlo que se refira aos meses de verão em que a bomba precisa de ser ligada. Para isso, foi necessário perceber através da série de precipitação de cada ano, quais os meses mais secos (em que a precipitação é inferior à evaporação), e após isto os meses foram passados para dias e seguidamente para horas (as regras de controlo usam valores em horas). Por exemplo, para o ano médio foi produzido um código para que a bomba ligasse quando o tempo de simulação fosse maior que 3672 horas e menor que 4416 horas, bem como quando o tempo de simulação fosse maior do que 5856 horas, isto é, a bomba liga no início de março e desliga no fim desse mês, voltando novamente a ligar no início de junho. Mantendo-se ligada até ao fim da simulação (30 de setembro).

Pluviómetro:

**Formato de chuva:** foi escolhido o formato *INTENSITY*, ou seja, refere que cada valor de precipitação é uma taxa média em polegada/hora (ou mm/hora) durante o intervalo de gravação.

**Intervalo de tempo:** este intervalo de tempo varia conforme a série de precipitação. Por exemplo, neste caso de estudo, para uma série temporal de 1 ano, os valores estão de 24 em 24 horas, portanto o intervalo de tempo será 24 horas. No entanto, para uma série temporal de uma hora em que os valores dessa série apresentam-se de 10 em 10 minutos, o intervalo de tempo é de 10 minutos.

**Fonte de dados:** neste caso utilizou-se a opção *TIMESERIES*. O nome da série temporal é o nome dado à série criada. Neste trabalho foram criadas quatro séries temporais: de 1 hora, do ano 1993 (ano médio), do ano 1988 (ano com menos precipitação) e o ano 1997 (ano com mais precipitação).

Dados de climatologia:

Neste caso de estudo apenas se editou os valores relacionados com a evaporação (*Evaporation*) e a velocidade do vento (*Wind Speed*). Nas tabelas seguintes é perceptível ver os dados fornecidos ao programa. Estes dados foram observados na normal climatológica de 1971 a 2000 para Aveiro – anexo VI (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2000).

**Tabela 17** - Dados de climatologia: Evaporação (mm/dia) e Velocidade do vento (Km/hora)  
(adaptado de Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2000).

Meses	Evaporação (mm/dia)	Velocidade do vento (Km/hora)
Janeiro	1,890	8,4
Fevereiro	2,152	9,3
Março	2,826	10,5
Abril	2,983	12,0
Maio	2,735	11,8
Junho	2,877	11,4
Julho	2,739	11,1
Agosto	2,648	10,4
Setembro	2,530	9,2
Outubro	2,203	8,4
Novembro	1,833	8,2
Dezembro	1,906	9,1



### Séries de precipitação

Como já referido anteriormente, foram usadas 4 séries de precipitação. Para escolher estas séries foi necessário recorrer à ficha da normal climatológica de Aveiro de 1971 a 2000. Como a ideia era perceber qual destes anos seria o mais seco, o mais chuvoso e o que se aproximava mais dos valores fornecidos na ficha climatológica (ano médio), recorreu-se ao Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos Português (SNIRH). Nas suas bases de dados, apenas se conseguiu obter informação meteorológica relativamente à estação de Oliveira do Bairro, que neste caso é a mais próxima da zona do caso em estudo (figura 52).

Data	OLIVEIRA DO BAIRRO (10G/01UG) Precipitação anual (mm)	
01/10/1971 09:00	844.5	
01/10/1972 09:00	987.4	
01/10/1973 09:00	844.8	
01/10/1974 09:00	667.2	
01/10/1975 09:00	536.4	
01/10/1976 09:00	1450.2	
01/10/1977 09:00	1287.3	
01/10/1978 09:00	1546.7	
01/10/1979 09:00	1134.1	
01/10/1980 09:00	741.6	
01/10/1981 09:00	963.6	
01/10/1982 09:00	983.4	
01/10/1983 09:00	1334.1	
01/10/1984 09:00	1220.6	
01/10/1985 09:00	1054.0	
01/10/1986 09:00	748.1	
01/10/1987 09:00	1209.6	
01/10/1988 09:00	674.1	→ Ano seco
01/10/1989 09:00	1002.4	
01/10/1990 09:00	1032.5	
01/10/1991 09:00	745.5	
01/10/1992 09:00	901.4	
01/10/1993 09:00	1155.0	→ Ano médio
01/10/1994 09:00	873.8	
01/10/1995 09:00	1449.0	
01/10/1996 09:00	1027.2	
01/10/1997 09:00	1523.5	→ Ano chuvoso

**Figura 52** – Valores de precipitação anuais entre 1971-2000 para Oliveira do Bairro (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, 2018).

Primeiramente, foi necessário ver os valores de precipitação anuais entre 1971 e 2000 para saber qual era o ano mais seco, mais húmido e o ano médio. Na imagem seguinte está o registo da precipitação anual desses anos e pode-se verificar que o ano médio é o de 1993 (1155 mm), pois aproxima-se mais do valor dado na ficha climatológica referente à média da quantidade de precipitação total (906,7 mm). Após isto, o ano mais seco foi aquele que apresentou valores mais baixos (1988) e o ano mais chuvoso aquele com valores de precipitação mais altos (1997).

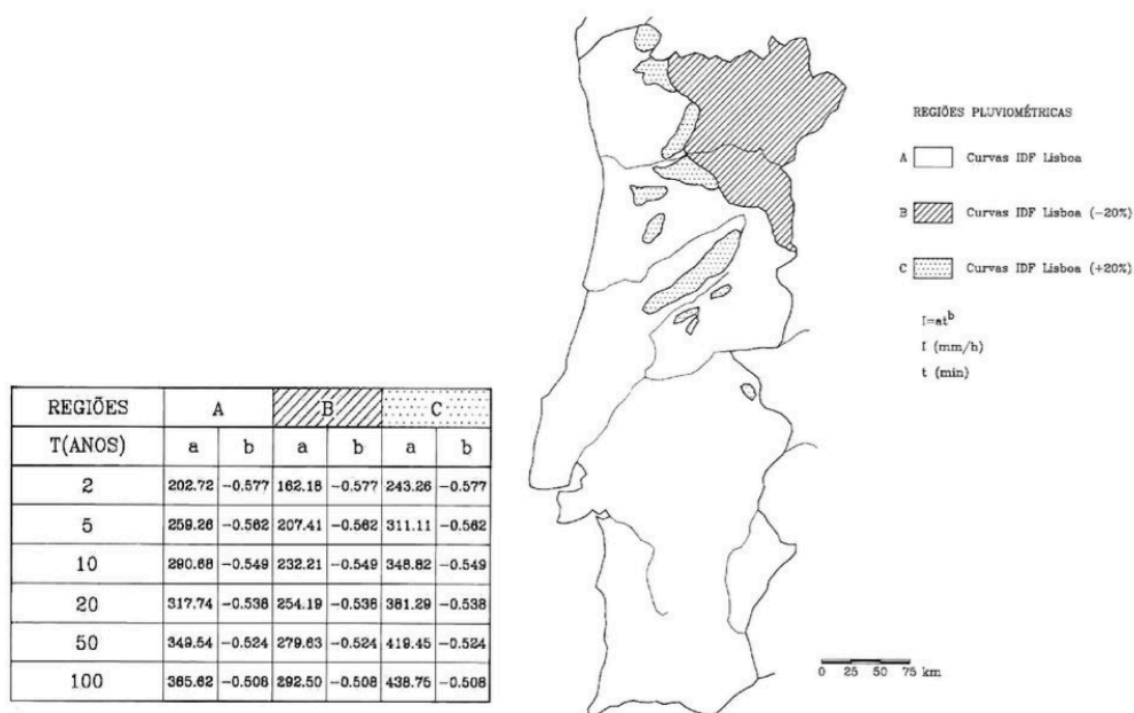
Seguidamente, retirou-se o valor diário da precipitação para cada um dos anos hidrológicos (1993, 1988 e 1997). O valor diário era apresentado às 9 horas de cada dia e para inserir no SWMM foi necessário dividir esses valores por 24, obtendo-se assim uma série de precipitação em mm/hora (considerada constante em cada dia).

Além destas três séries foi criada uma série temporal com precipitação intensa com duração de uma hora. Para determinar os dados desta série temporal foi necessário recorrer à equação da intensidade de precipitação e às curvas IDF – Intensidade, Duração e Frequência de Portugal Continental – figura 53 (Diário da República, 1995).

A equação da precipitação é dada como:

$$I = a \times t^b \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que,  $I$  é correspondente à intensidade média máxima (mm/h) e  $t$  corresponde ao tempo de precipitação em minutos. Os parâmetros  $a$  e  $b$  são adimensionais e dependem da região pluviométrica e do período de retorno. Como é possível visualizar no mapa da figura a baixo, a zona de estudo localiza-se na região pluviométrica A.



**Figura 53** - Curvas IDF relativas a Portugal Continental (Sousa, 2001).

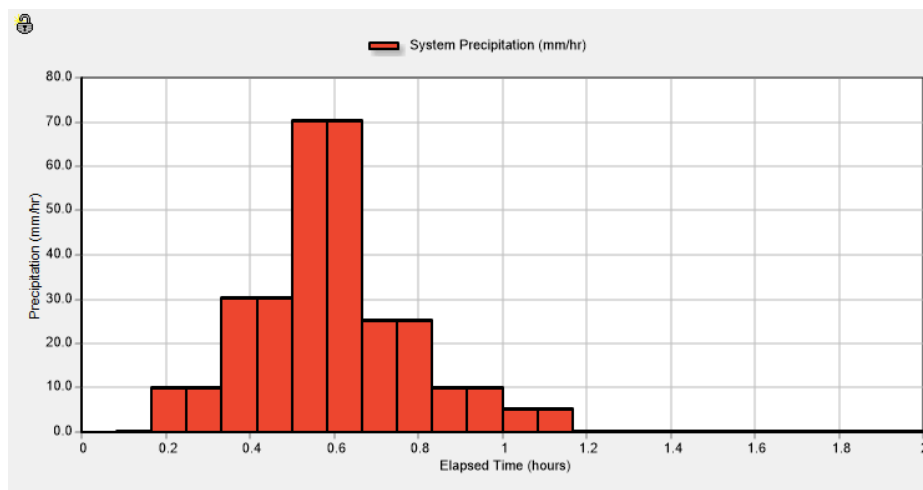
O período de retorno é o intervalo de tempo médio associado à ocorrência de precipitação de intensidade média superior a um dado valor para o qual se pretende dimensionar a rede de drenagem. Na prática o período de retorno que se deve considerar para sistemas de águas pluviais é de 5 ou 10 anos, portanto para este projeto optou-se por um período de retorno de 5 anos (Sousa, 2001).

Usando a equação 2, para um período de retorno de cinco com um intervalo de tempo variável entre os 10 minutos e 1 hora, obteve-se os valores de intensidade de precipitação. Estes foram calculados de forma a existir um intervalo de tempo de 10 minutos em que a intensidade de 70 mm/hora (máximo para um tempo de retorno de 5 anos), e que a precipitação acumulada de 1 hora não ultrapasse os 26 mm (Ferreira, 2017).

**Tabela 18** – Série de precipitação criada e a sua respetiva intensidade para 1 hora com intervalos de tempo de 10 minutos.

Intervalo de tempo (min)	Intensidade da precipitação (mm/h)	Precipitação real (mm)	Precipitação acumulada (mm)
0-10	71,1	11,85	1,7
10-20	48,1	16,06	6,7
20-30	38,3	19,15	18,3
30-40	32,6	21,73	22,5
40-50	28,8	24,00	24,2
50-60	26,0	26,00	25,0

Desta forma, foi possível forma uma série temporal de precipitação, com duração de 1 hora e intervalo de 10 minutos, como é possível notar na tabela 18. Na imagem seguinte encontra-se um histograma relativo à série temporal criada anteriormente.



**Figura 54** - Histograma da série temporal usada (1 hora).

### 3.3. Saídas de campo

Como já referido anteriormente, utilizou-se um mapa (figura 49), de forma a facilitar a localização das caixas de visita e coletores pertencentes ao sistema de drenagem de águas pluviais da UA. Com o mapa numerou-se as caixas de visita que seriam de maior importância abrir e começou-se por abrir as caixas que se localizavam na rede de coletores principal.

As saídas de campo foram em grande parte acompanhadas pelos SGTL da Universidade de Aveiro e pelo Professor Figueiredo do Departamento de Ambiente e Ordenamento.

Estas saídas tiveram como objetivo perceber se a rede de águas pluviais estava de acordo com os ficheiros fornecidos, bem como medir a altura das condutas até à cota da tampa para posteriormente se conseguir calcular as suas respetivas cotas de soleiras.

Durante este trabalho de campo aconteceram inúmeros percalços, desde caixas de visita que não foram encontradas ou que foram impossíveis de se conseguir abrir. No entanto, uma delas foi encontrada enterrada no relvado perto do Departamento de Robótica. Foi descoberta com a ajuda de um detetor de metais fornecido pelo Departamento de Geociências.

### **3.4. Trabalho laboratorial**

Todos os parâmetros analisados neste trabalho foram feitos conforme o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 2012). Os trabalhos laboratoriais, foram divididos em duas partes:

#### **3.4.1. 1ª parte do trabalho laboratorial**

Esta parte do trabalho foi realizada conforme se iam descobrindo pontos em que a análise seria mais pertinente (pontos que evidenciavam mau cheiro – esgoto). Além disso, foi dada uma atenção especial ao ponto de ligação da câmara municipal à rede de águas pluviais da UA e, também, ao ponto de descarga na lagoa que vem da conduta dessa ligação.

##### Data das amostragens:

- Outubro 2017: dia 16 e dia 30;
- Novembro 2017: dia 13, 21 e 24.

##### Pontos de recolha:

- Na ligação da câmara municipal à rede de águas pluviais do Campus e na entrada da lagoa 1;
- Pontos que apresentavam cheiro durante a abertura das tampas.

##### Análises:

- Oxigénio dissolvido – Medição no dia
- Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO) – Medição no próprio dia;
- Condutividade – Medição no próprio dia;
- Sólidos voláteis e totais (SSV e SST) – Filtração no próprio dia.

##### Em cada ponto recolher as seguintes quantidades:

- 1 litro para análises dos sólidos;
- 1 litro para as análises do CBO, oxigénio dissolvido e condutividade.

#### **3.4.2. 2ª parte do trabalho laboratorial**

Esta parte do trabalho laboratorial teve como objetivo perceber se havia contaminação na entrada da lagoa e na sua saída de forma a entender se a água poderia ser reutilizada para regar os espaços verdes do Campus (cumprindo os valores recomendados do decreto-lei nº236/98 referente às normas da qualidade da água destinadas à rega). Além disso, também foram feitas análises às restantes saídas do sistema.

Datas das amostragens:

- 22 fevereiro 2018;
- 20 março 2018;
- 30 abril 2018;
- 30 maio 2018.

Pontos de Recolha:

- Entrada na Lagoa 1;
- Saídas do sistema.

Análises:

- Nitratos (nitrato + nitrito) – Preservação do filtrado no frio e adicionou-se  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido sulfúrico), com  $\text{pH} < 2$  (28 dias);
- Cloretos – Preservação no frio o filtrado (28 dias);
- Sólidos (voláteis e totais) – Filtração no próprio dia;
- CBO – Medição no dia;
- Condutividade – Medição no dia;
- SAR (Relação de adsorção sódio – medição de magnésio, sódio e cálcio) – O filtrado foi preservado no frio e adicionou-se  $\text{HNO}_3$  (ácido nítrico), com  $\text{pH} < 2$  (6 meses);
- Potássio – Preservação do filtrado no frio com adição de  $\text{HNO}_3$ , com  $\text{pH} < 2$  (6 meses);
- Análises microbiológicas.

Em cada ponto recolher as seguintes quantidades:

- 1 L para sólidos em que o filtrado serve para os metais, cloretos, nitratos (100m mL para cada);
- 1 L para CBO e condutividade.

Os parâmetros em que eram possíveis armazenar, foram armazenados o máximo de tempo possível para se conseguir obter um rendimento melhor do tempo disponível, fazendo-se as análises de vários meses no mesmo dia. Na figura 55 encontra-se a localização dos principais pontos de amostragem.



**Figura 55** - Localização dos pontos principais de amostragem.

Assim, com todos os dados preparados e inseridos, a simulação está pronta a ser corrida. No próximo capítulo encontram-se os resultados obtidos para as quatro simulações feitas: 1 hora, ano médio (1993), ano seco (1988) e ano chuvoso (1997). Também são apresentados os resultados referentes às análises laboratoriais e trabalho de campo realizado.





## 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

Neste capítulo serão apresentados os resultados, sendo que neste projeto foi necessário dividir os resultados em três partes: resultados provenientes do trabalho de campo, os resultados relativos às simulações do SWMM e os resultados relativos às análises.

#### 4.1. Resultados das observações dos componentes da rede

Nas saídas de campo também foi possível obter alguns resultados, entre eles:

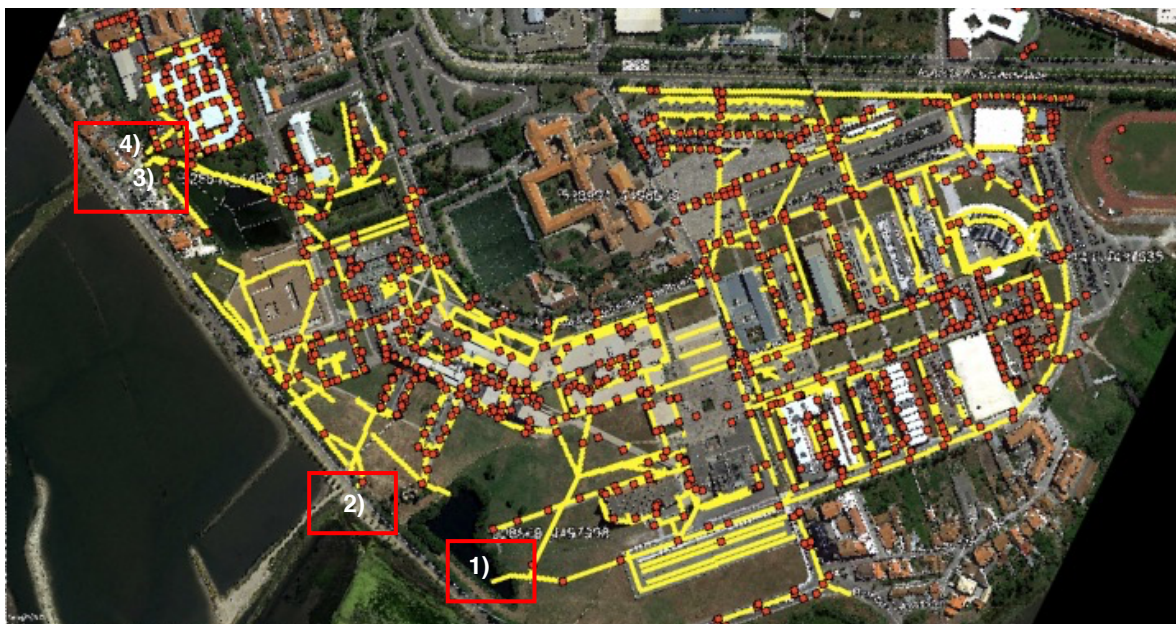
- Confirmação das saídas para o meio recetor principais da rede de drenagem de águas pluviais;
- Correções do *layout* da rede de drenagem de águas pluviais fornecido pelos SGTL;
- Correções de diâmetros;
- Alturas das caixas de visita até aos coletores;
- Descoberta de pontos de contaminação na rede com águas residuais;
- Levantamento fotográfico do estado das condutas.

##### 4.1.1. Identificação das bacias ligadas às saídas para o meio recetor

Durante as saídas de campo e com a ajuda dos *layouts* fornecidos pelos SGTL foram confirmadas as 4 saídas principais do sistema de drenagem de águas pluviais do Campus, foram elas:

- 1) Saída da lagoa;
- 2) Saída para uma vala em direção à Ria de Aveiro (pertencente à Câmara Municipal de Aveiro – CMA);
- 3) Saída da lagoa ETAR;
- 4) Saída na Fonte da Pega, localizada na Rua da Pega.

Na imagem seguinte estão assinaladas as 4 saídas do sistema.



**Figura 56** -Localização das 4 saídas do Sistema da rede de drenagem de águas pluviais da UA.

As saídas estão representadas em fotografia como se pode ver na figura a baixo.



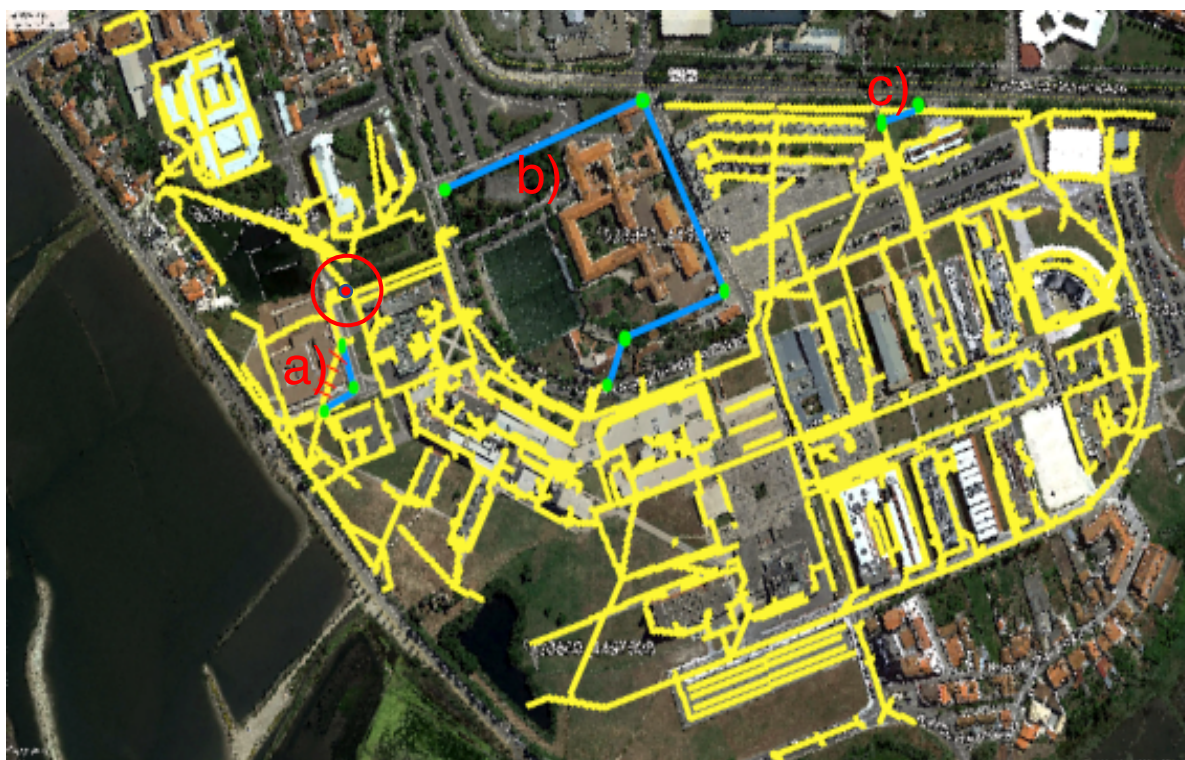
**Figura 57** – Saídas do Sistema de drenagem de águas pluviais do Campus de Santiago.



#### 4.1.2. Correções do layout do SGTL

Nas saídas de campo ocorreram alguns problemas, pois nem sempre o mapa da rede de águas pluviais fornecido coincidia com o a visualização em terreno. Portanto, após uma análise mais cuidada desses sítios onde ocorriam estas situações foi descoberto que o mapa não era atualizado sempre que haviam alterações na rede.

Desta forma foi criado um mapa com as alterações da rede já feitas (figura 58), em que a azul são as condutas que não existiam e as bolas a verde são as caixas de visita de águas pluviais a que elas se ligam.



**Figura 58** - Localização das correções feitas no layout fornecido pelos SGTL.

Portanto as condutas que sofreram alterações foram:

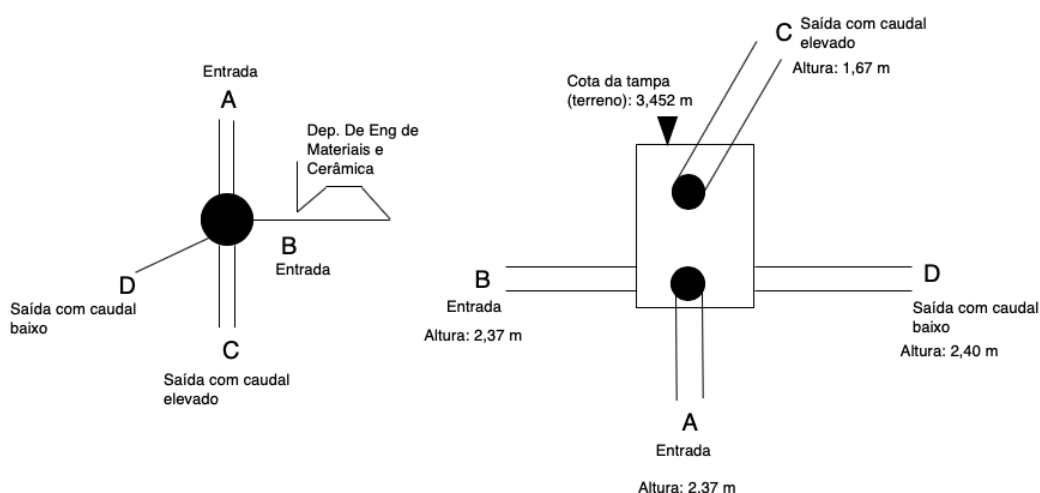
- a) Conduto perto do Departamento de Robótica, em que a ligação foi alterada na altura da sua construção. Antes da sua construção a conduta era como está representado na figura 56 com tracejado a vermelho;
- b) Este ponto não foi uma alteração, mas sim uma adição, pois no *layout* fornecido pelos SGTL não constava informação relativa ao Seminário de Santa Joana porque não pertencente à UA. Contudo descobriu-se nas saídas de campo que havia uma ligação do seminário à rede de drenagem de águas pluviais do Campus – conforme está exemplificado no mapa anterior;

- c) Ligação da rede de drenagem de águas pluviais da UA com a rede de águas pluviais da CMA que foi descoberta num trabalho anterior que diagnosticava a rede de águas pluviais nas bacias urbanas do setor poente de Aveiro (Ferreira, 2017). Os serviços técnicos da UA foram alertados e corrigiram a situação tamponando a conduta que vem da CMA – tal como na figura 59.



**Figura 59** – Conduta da CMA com ligação à rede de coletores da UA, já tapada.

Além destas alterações, foi detetada nas saídas de campo outra situação que não constava nas informações dadas pelo SGTL – uma caixa de visita que contém duas saídas: uma para baixo caudal e outra para caudais mais elevados (circulada a vermelho na figura 58). A figura seguinte é um esquema representativo dessa caixa visita, em que na esquerda está representada um esquema com vista de cima e na direita um esquema com vista transversal.



**Figura 60** – Esquema representativo da caixa de visita com duas saídas conforme o caudal: caudal elevado saída C e caudal baixo saída D.

Os pontos marcados na imagem anterior referem-se:

- A – Entrada
- B – Entrada que vem do Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica
- C – Saída com caudal elevado em direção à saída 3 da rede de drenagem de águas pluviais da UA, ou seja, em direção à saída da lagoa ETAR (conduta C06);
- D – Saída com caudal baixo em direção à saída 2 (saída vala CMA) da rede de drenagem de águas pluviais da UA (conduta C22).

#### **4.1.3. Correções de diâmetros**

É de notar que neste ponto os diâmetros das condutas medidos no terreno estão sujeitos a erros de medições devido às más condições de visibilidade e devido também, ao facto de algumas condutas estarem um pouco soterradas.

Desta forma, os diâmetros dos coletores que foram corrigidos estão listados na tabela seguinte.

**Tabela 19** – Condutas em que os diâmetros foram corrigidos.

<b>Nome da conduta</b>	<b>Diâmetro fornecido pelos SGTL (mm)</b>	<b>Diâmetro medido (mm)</b>
C20	500	600
C21	500	600
C22	500	600
C27	500	600
C37	500	700
C38	500	700
C46	350	250
C47	400	250
C48	500	250
C51	300	400
C61	500	600
C66	300	400
C67	500	400
C68	500	400
C69	500	400
C77	500	700
C86	400	250
C87	150	200
C91	200	250

#### **4.1.4. Alturas das caixas de visita**

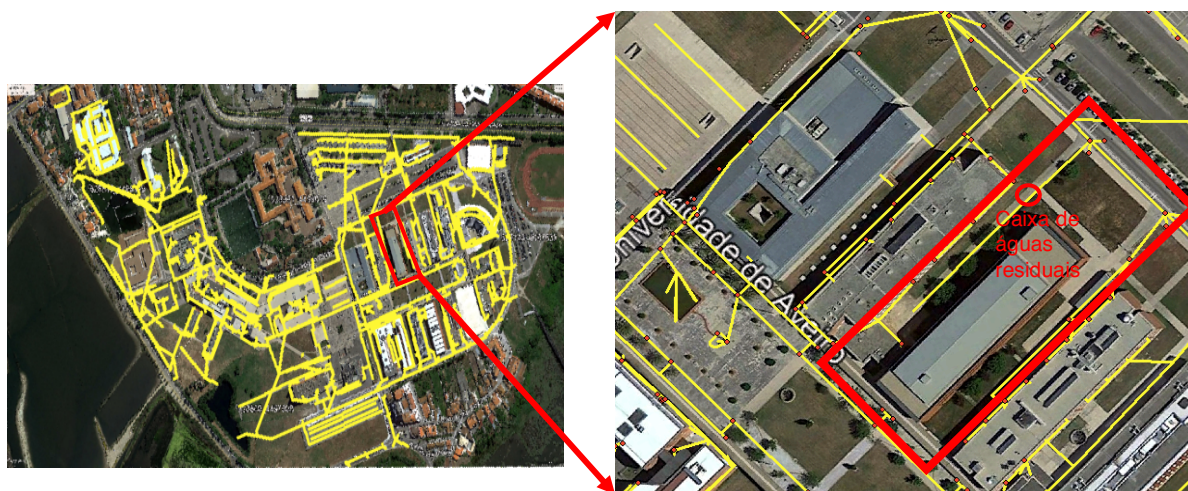
Na tabela seguinte foram medidas as alturas das caixas de visita, sendo que essas alturas foram registadas na seguinte tabela:

**Tabela 20** – Alturas das caixas de visita medidas em campo.

Caixa de Visita	Altura (m)	Caixa de Visita	Altura (m)
N03	2,09	N41	3,56
N04	2,66	N42	3,46
N05	3,19	N43	3,07
N06	1,93	N49	1,28
N07	1,93	N50	1,73
N08	2,55	N51	1,44
N09	2,26	N52	1,98
N10	2,44	N53	1,59
N11	1,97	N54	1,6
N12	1,72	N55	1,9
N13	1,43	N56	1,99
N14	1,24	N57	2,23
N15	1,92	N58	2,23
N16	1,7	N59	2,2
N17	0,87	N60	2,05
N18	1,4	N61	1,94
N19	1,84	N62	2,2
N20	2,25	N63	2,5
N21	3,46	N64	2,7
N22	3,7	N65	2,95
N23	2,95	N67	0,7
N24	1,97	N68	0,7
N25	2,19	N69	0,6
N26	2,16	N70	0,7
N27	1,95	N71	1,25
N28	1,75	N72	1,62
N29	2,12	N73	2,64
N30	1,93	N75	1,62
N31	2,58	N76	1,61
N32	3,59	N77	1,87
N33	3,58	N81	1,9
N34	3,65	N82	1,7
N35	3,58	N84	1,93
N36	4,41	N88	1,473
N37	3,18	N89	8,683
N38	3,37	Saída Fonte da Pega	0,5
N39	2,71	Saída ETAR	1,55
N40	2,78		

#### 4.1.5. Pontos com contaminação de águas residuais

Apenas houve uma tampa em que se confirmou visualmente que esta estava ligada ao sistema de drenagem de águas pluviais da UA. Esta tampa localizava-se perto do Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia (CICFANO) – figura 61. Sendo este complexo relativamente recente, a má ligação foi feita na altura em que foi construído. Os serviços técnicos da UA também corrigiram logo a situação quando alertados.



**Figura 61** – Localização da tampa de águas residuais que se encontrava ligada à rede de águas pluviais.

#### 4.1.6. Levantamento fotográfico

Como pedido pelo SGTL foi feito um levantamento fotográfico dos estados das condutas. Foi possível perceber que maior parte das condutas estavam em bom estado, no entanto alguma encontravam-se, em parte, soterradas, precisando de alguma limpeza e manutenção. De seguida estão alguns exemplos de fotografias tiradas.





**Figura 62** – Levantamento fotográfico das condutas.

#### **4.2. Resultados relativos às simulações SWMM**

Com já referido ao longo da metodologia, foram feitas quatro simulações relativas ao caso em estudo:

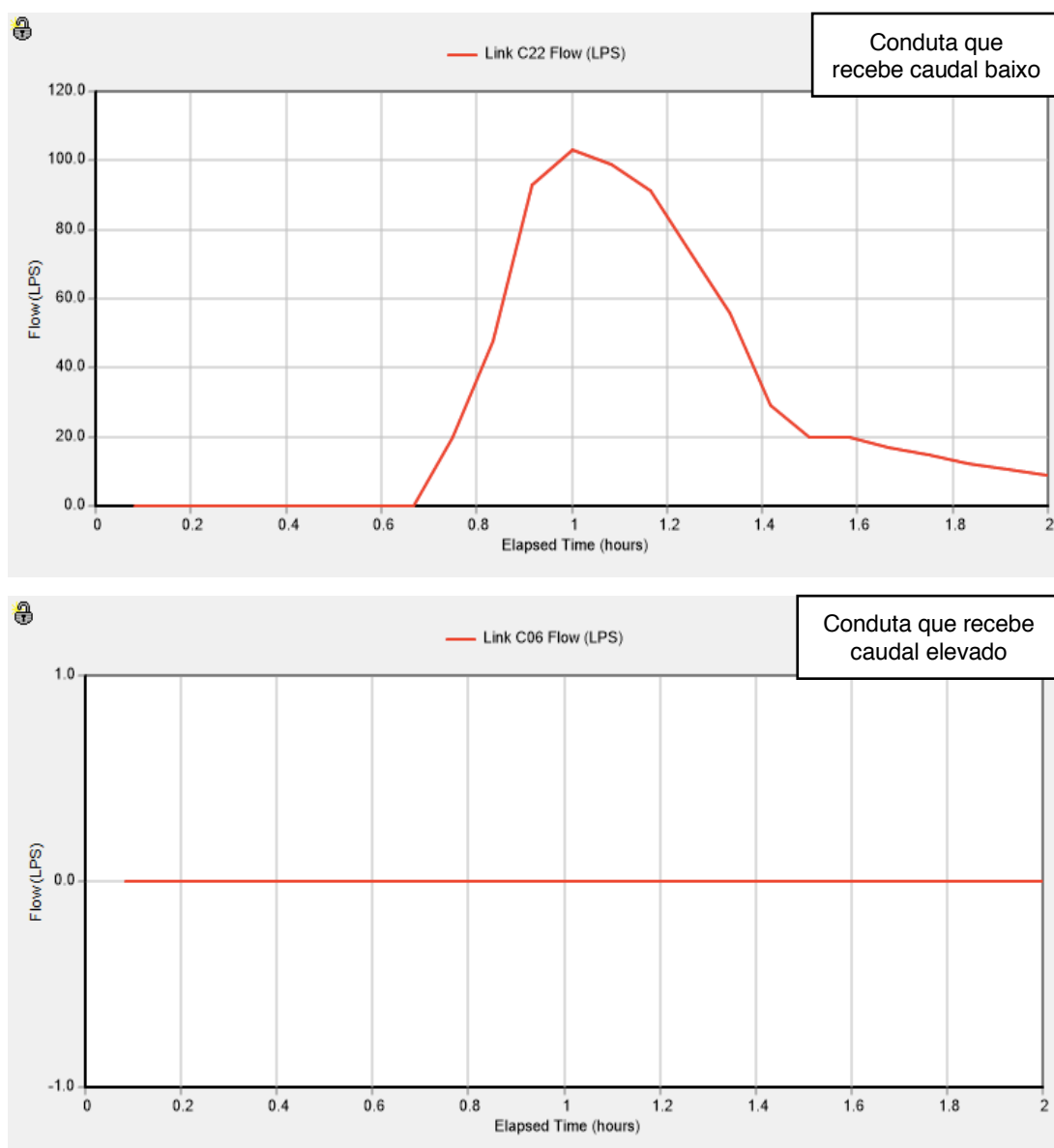
- Simulação de 1h (precipitação intensa) para verificar a situação descrita na imagem 58 e para ver qual a capacidade das condutas e caixas de visita do sistema;
- Simulação para o ano médio (1993), seco (1988) e chuvoso (1997).



#### 4.2.1. Simulação de em evento de precipitação intensa

Verificação da situação da caixa de visita que contém duas saídas:

De forma a verificar a situação descrita no ponto 4.1.2 (figura 60) em que a caixa de visita contém duas saídas: uma para baixo caudal (conduta C22) e outra para caudais mais elevados (conduta C06), foi realizada uma simulação de um evento de precipitação intensa para verificar se no modelo este sistema estaria a funcionar corretamente (figura 63).



**Figura 63** - Verificação da situação da caixa de visita com duas saídas: uma para caudal baixo (gráfico de cima) e outra para caudal elevado (gráfico de baixo).

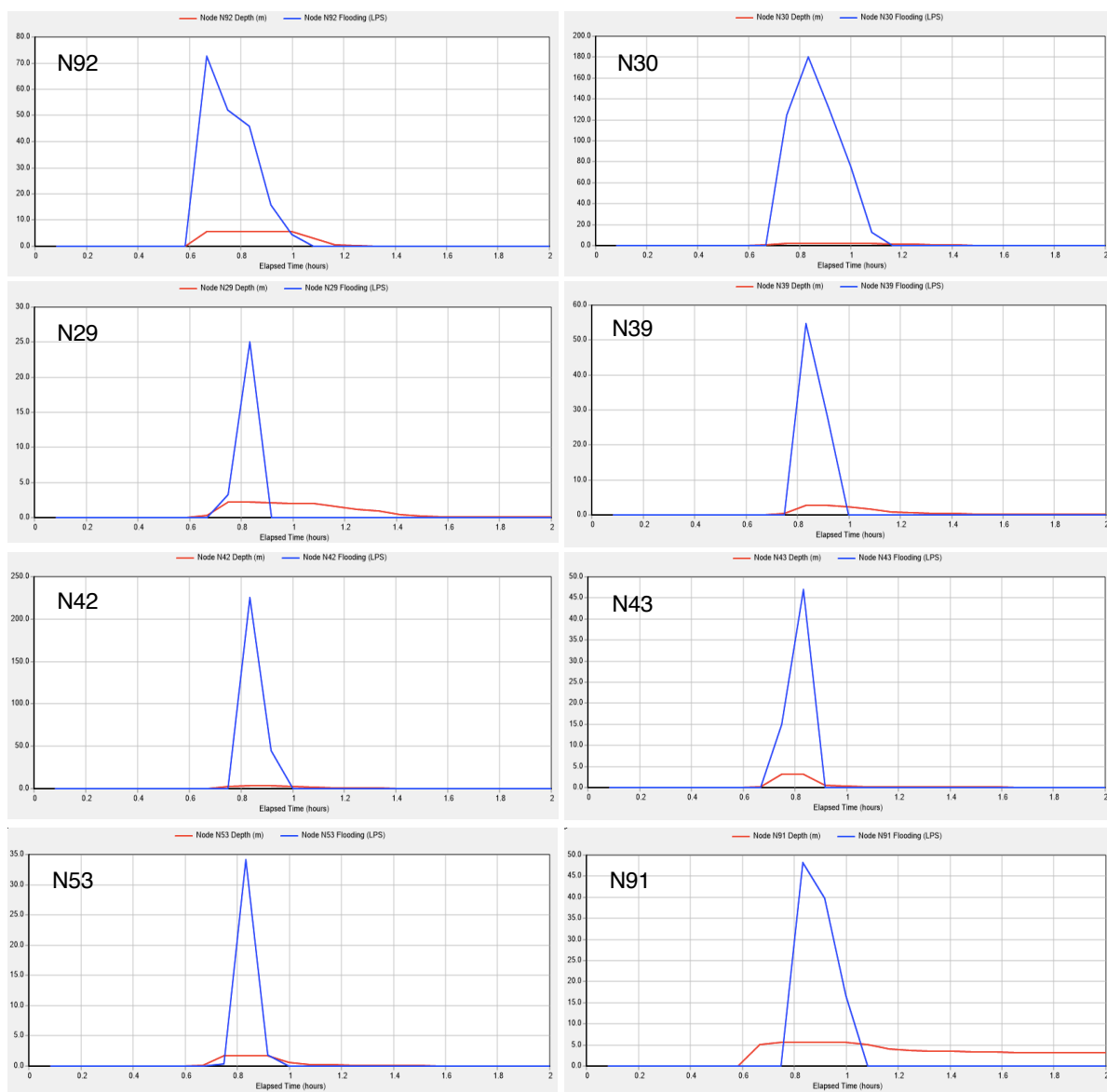
É possível perceber pelos gráficos da figura anterior que a conduta relativa ao caudal baixo recebe todo o escoamento em Litros Por Segundo (LPS) e a conduta relativa ao caudal

elevado não recebe nenhum, isto quer dizer que a série de precipitação criada não tem um caudal suficientemente elevado para que o escoamento vá para a conduta de caudal elevado (C06). Com esta série de precipitação, a altura máxima que a água pluvial atinge dentro da caixa de visita é de cerca de 1,4 metros, sendo que a altura da conduta de caudal elevado encontra-se a cerca de 1,7 metros, não recebendo, desta forma o escoamento.

#### Capacidade das condutas e caixas de visita:

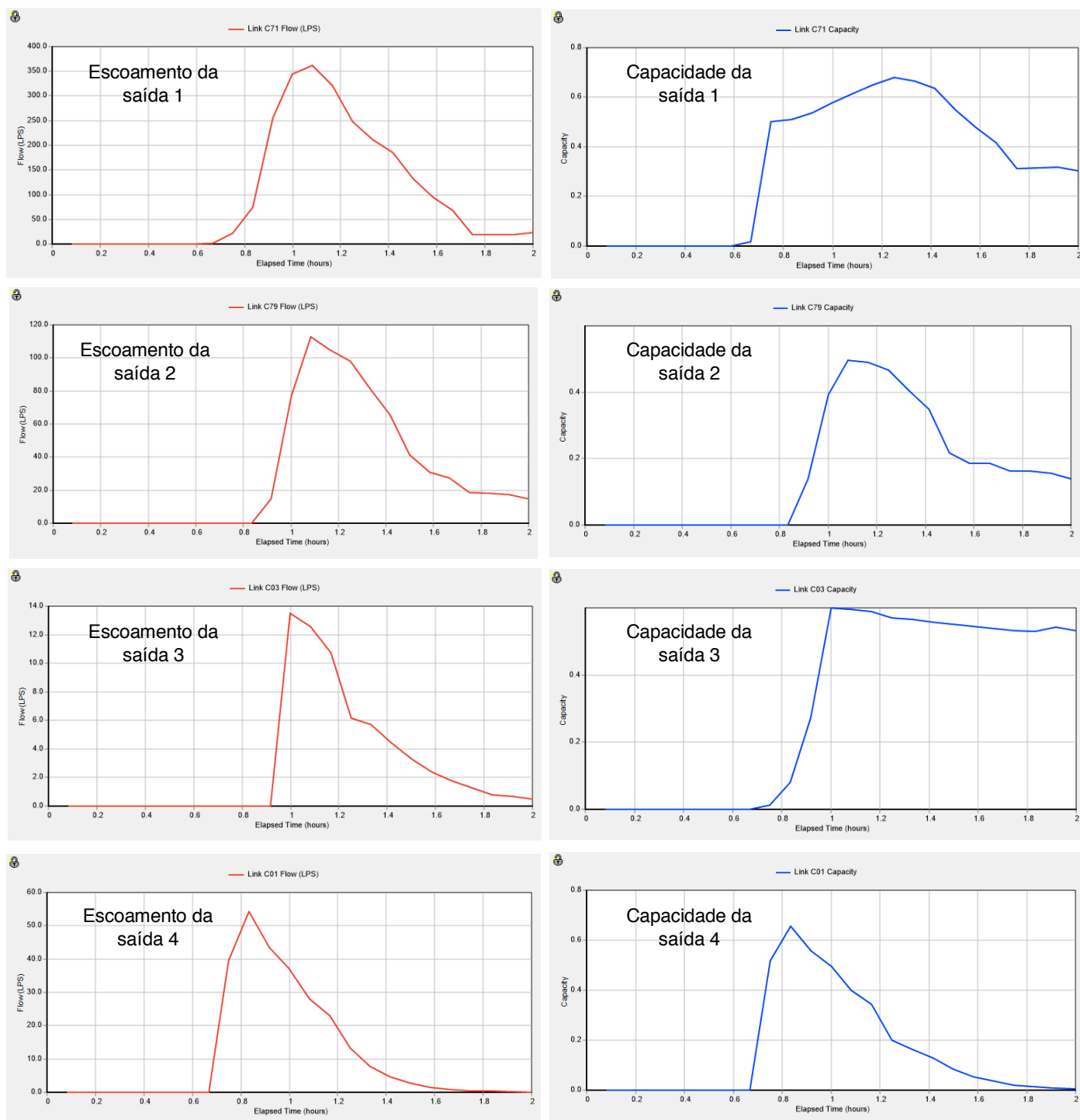
Esta simulação serve essencialmente para perceber se existe alguma caixa de visita ou conduta em condição de alagamento ou com falta de capacidade. Para entender esta questão, foi necessário visualizar o comportamento do sistema ao longo do tempo. Assim percebe-se que o primeiro nó a alagar é o nó N92 (por volta dos 40 minutos de simulação), seguidamente o nó N30 (a cerca de 45 minutos de simulação), e é relativamente por volta dos 50 minutos de simulação que os nós N29, N39, N42, N43, N53 e N91 começam a ficar numa situação mais crítica (sofrendo alagamento).

A imagem seguinte é relativa a gráficos retirados do programa SWMM referentes a cada nó que sofreu alagamento durante esta simulação (LPS), em que a linha vermelha representa a altura da caixa de visita (*Flow Depth*) e a azul o caudal de inundação (*Ponding Flow Rate*).



**Figura 64** - Caixas de visita que sofreram alagamento durante a simulação de um evento de precipitação intensa. Linha azul: caudal de inundação; linha vermelha: altura do escoamento na caixa de visita.

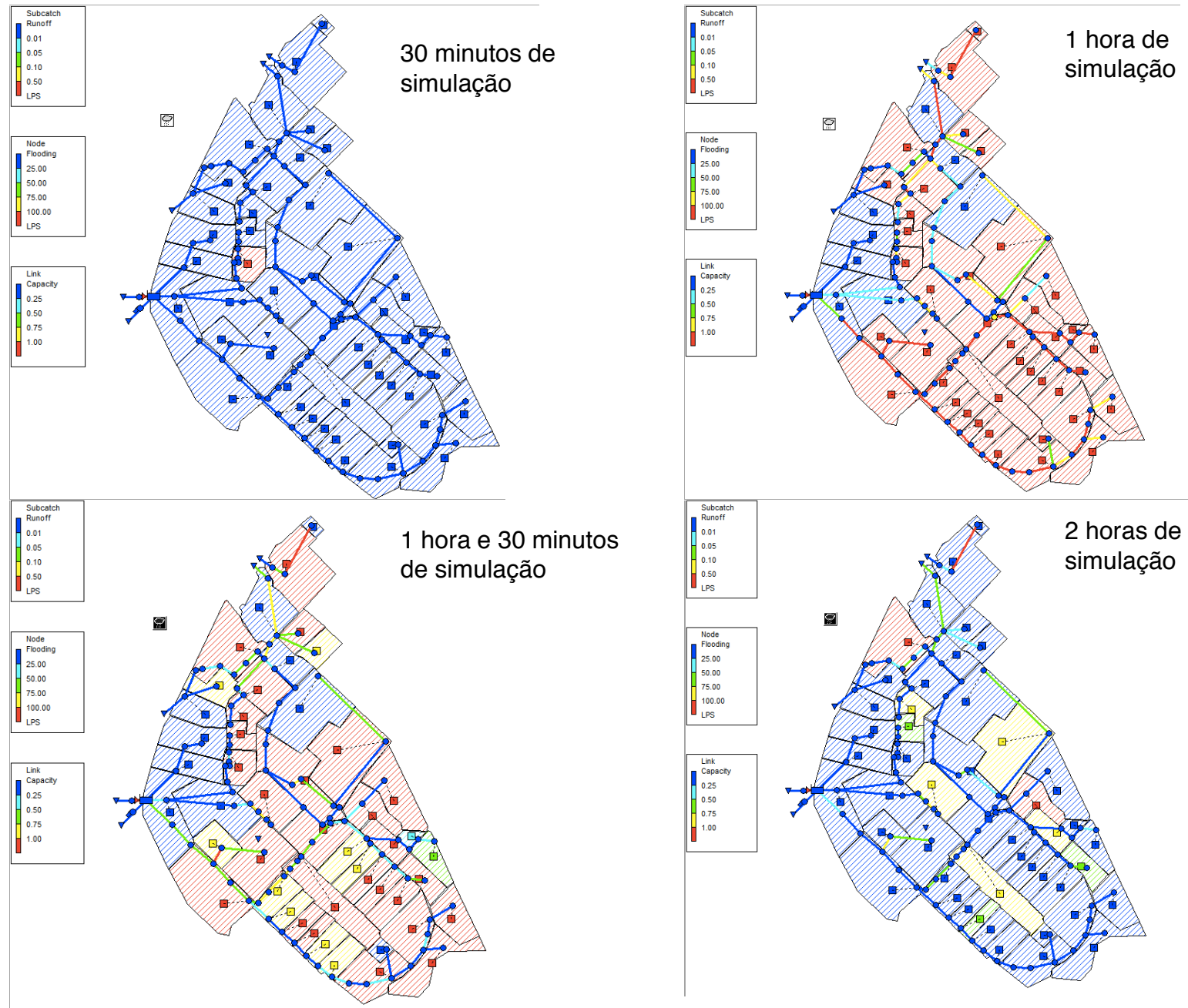
Sendo que, para analisar a capacidade das condutas do sistema, foram escolhidas apenas as condutas ligadas às saídas do sistema (*Outfall*) – C71 (saída 1), C79 (saída 2), C03 (saída 3) e C01 (saída 4). A imagem seguinte mostra a relação da utilização da capacidade das condutas com o escoamento em LPS.



**Figura 65** – Escoamento das condutas relativas às saídas do sistema (em LPS) Vs capacidade das condutas relativas às saídas do sistema durante uma simulação de um evento com precipitação intensa.

É possível perceber que é apenas na saída 3 que a conduta atinge uma capacidade de 100%.

Relativamente ao comportamento do sistema ao longo da simulação, este fica mais saturado entre 1 hora de simulação a 1 hora e 30 minutos de simulação. No início (30 minutos de simulação) o sistema apresenta apenas uma sub-bacia com escoamento (*Runoff*), após 1 hora percebe-se que várias bacias têm escoamento e que muitas condutas têm o seu escoamento a plena secção superior a 100%. No entanto, apenas existem alguns nós em situação de alagamento, apresentando, assim alagamentos superiores a 100 LPS. Após 2 horas de simulação o sistema começa a recuperar e a voltar ao normal, como se pode verificar na imagem em baixo.



**Figura 66** – Comportamento do sistema para um evento de precipitação intensa ao longo do tempo.

#### **4.2.2. Simulação para o ano médio, seco e chuvoso**

O objetivo destas simulações é analisar o comportamento da lagoa 1 para perceber se há interesse em aumentar o volume de armazenamento em outras lagoas. O conjunto de imagens seguintes refere-se às séries temporais criadas para cada ano. No ano de 1993, ou seja, o ano corresponde à normal climatológica de Aveiro, o valor máximo de precipitação atingido é de quase 2,6 mm/hora que corresponde ao mês de outubro.

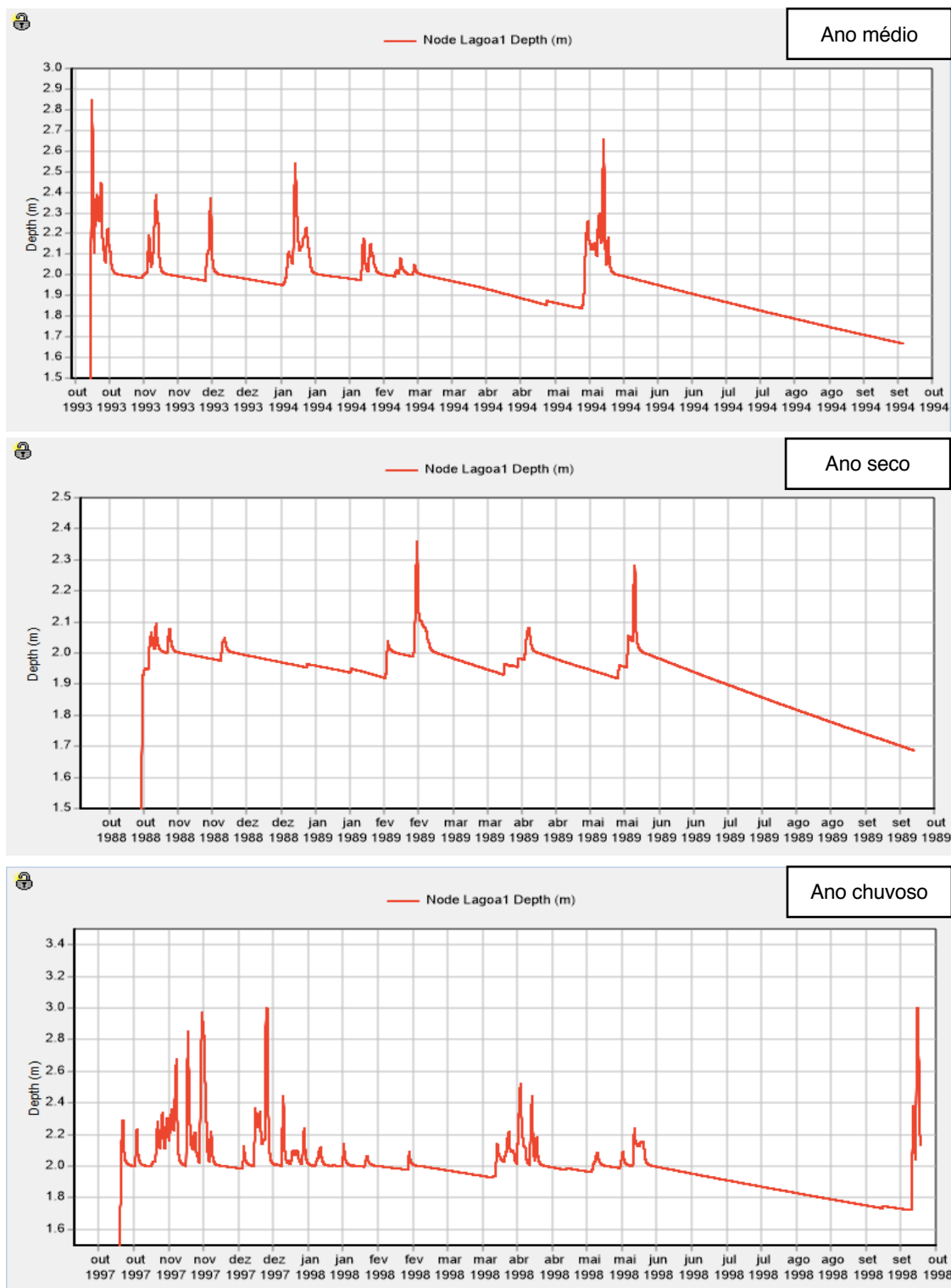
No ano seco (1988) o valor máximo de precipitação foi de 1,2 mm/hora também no mês de outubro, no ano com mais precipitação (1997) a precipitação atingiu um valor máximo de cerca de 3,5 mm/hora, no fim do mês de setembro. Em todos os anos os meses menos chuvosos foram os meses correspondentes ao Verão – junho, julho e agosto (figura 67).



**Figura 67** - Séries de precipitação para os anos de 1993 (médio), 1988 (ano seco) e 1997 (ano chuvoso).



Relativamente ao comportamento da lagoa, é possível perceber pelos gráficos seguintes (gráficos da figura 68) que esta tem um comportamento relacionado com a precipitação que ocorre, ou seja, quando existe mais precipitação a lagoa tende a ficar mais cheia e vice-versa. A altura inicial da lagoa 1 é de 1,5 metros.



**Figura 68** - Comportamento da lagoa 1 ao longo de tempo para os anos de 1993 (médio), 1988 (ano seco) e 1997 (ano chuvoso).

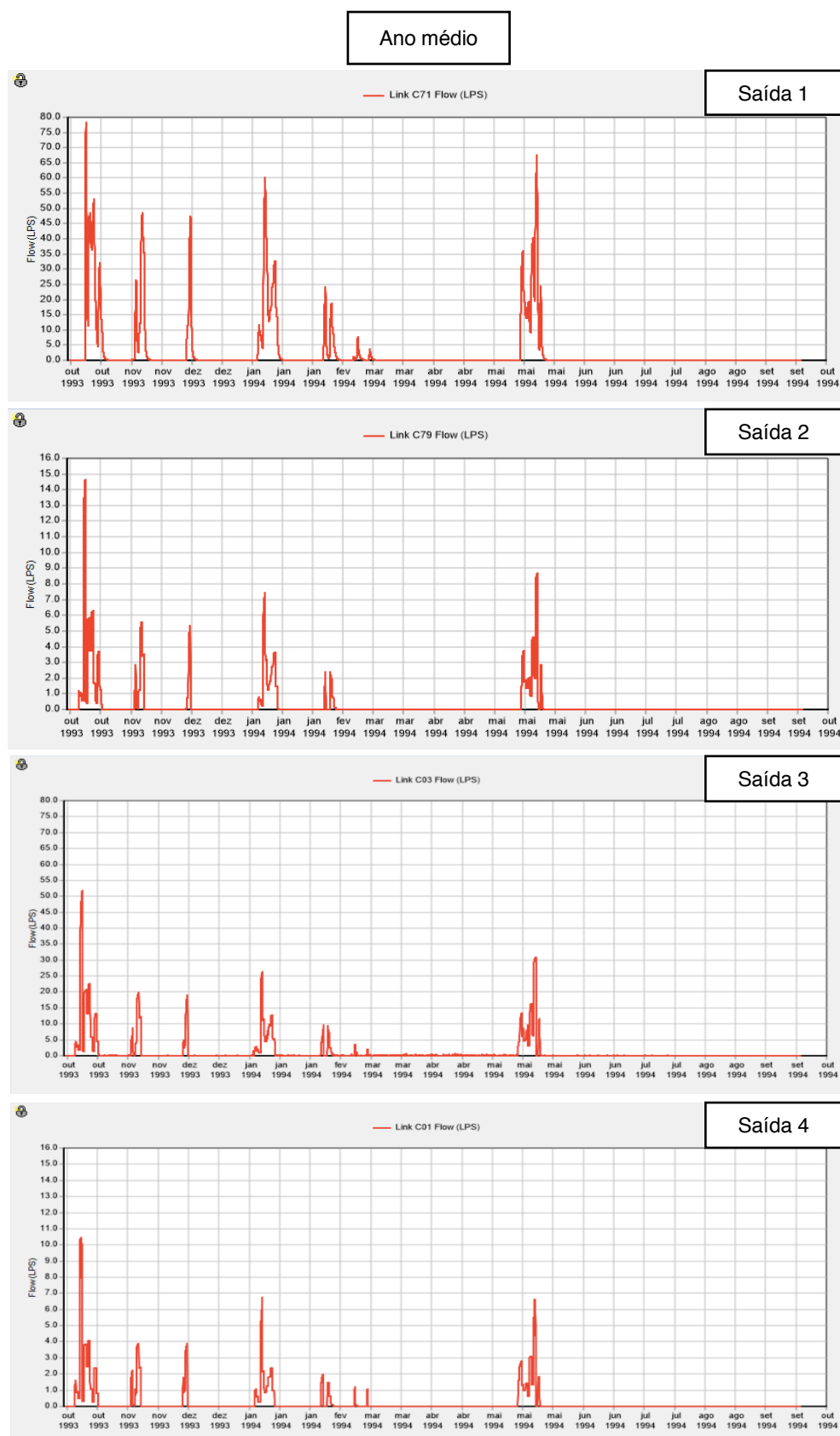
Além disso, todos os gráficos têm o mesmo comportamento, ou seja, em todas as situações as quantidades de água da lagoa mantêm-se por volta dos 2 metros, no entanto, a partir do mês de maio até ao mês de setembro a quantidade de água começa a diminuir devido à falta de precipitação nestes meses de Verão.

Apesar disto, os gráficos corroboram o facto de que no ano seco a quantidade de água disponível na lagoa 1 é menor, pois não chega a ultrapassar os 2,5 metros de altura e no ano chuvoso a quantidade de água atinge o máximo de altura que a lagoa possui (3 metros). No entanto nesta situação, e em nenhuma outra, não existe transbordamento da lagoa e isto deve-se ao facto de a lagoa não comportar toda a água que recebe, isto é, apesar de receber um caudal de entrada suficientemente elevado, esse caudal também vai saindo pelo tubo de descarga, não havendo o risco de a lagoa transbordar.

Visto que a lagoa não comporta toda a água que recebe, é necessário perceber a quantidade de água que sai na lagoa 1, ou seja, qual é a quantidade de água que poderia ser aproveitada em vez de desperdiçada durante um ano hidrológico. Nas restantes saídas do sistema também foram feitas estimativas da quantidade de água que sai.

Nas imagens seguintes é possível ter essa estimativa relativa a todas as saídas do sistema para todos os anos hidrológicos estudados em LPS.

Ano médio:



**Figura 69** - Escoamento em LPS relativos a cada saída do sistema de águas pluviais da UA para o ano médio. Em que: saída 1 é a saída da lagoa 1; saída 2 é relativa à vala para a Ria de Aveiro; saída 3 é a saída da lagoa ETAR e saída 4 é saída relativa à Fonte da Pega.

Após uma análise da imagem anterior, foi possível criar uma estimativa sobre a quantidade de água que sai de cada saída do sistema durante um ano médio. Esta estimativa foi feita apenas para os meses em que a quantidade de água a sair é mais significativa. Os resultados apresentam-se nas tabelas seguintes:

- Saída 1 (C71):

**Tabela 21** – Quantidade de água que sai da saída 1 durante um ano médio.

<b>Meses (Ano médio)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	79	6825,6	211.593,6
Novembro	49	4233,6	127.008
Dezembro	47	4060,8	125.884,8
Janeiro	60	5184	160.704
Fevereiro	25	2160	60.480
Maio	67	5788,8	179.452,8
<b>Total</b>	<b>327</b>	<b>28.252,8</b>	<b>865.123,2</b>

- Saída 2 (C79):

**Tabela 22** - Quantidade de água que sai da saída 2 durante um ano médio.

<b>Meses (Ano médio)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	14,9	1287,36	39.908,16
Novembro	5,7	492,48	14.774,4
Dezembro	5,6	483,84	14.999,04
Janeiro	7,5	648	20.088
Maio	8,8	760,32	23.569,92
<b>Total</b>	<b>42,5</b>	<b>3672</b>	<b>113.339,52</b>

- Saída 3 (C03):

**Tabela 23** - Quantidade de água que sai da saída 3 durante um ano médio.

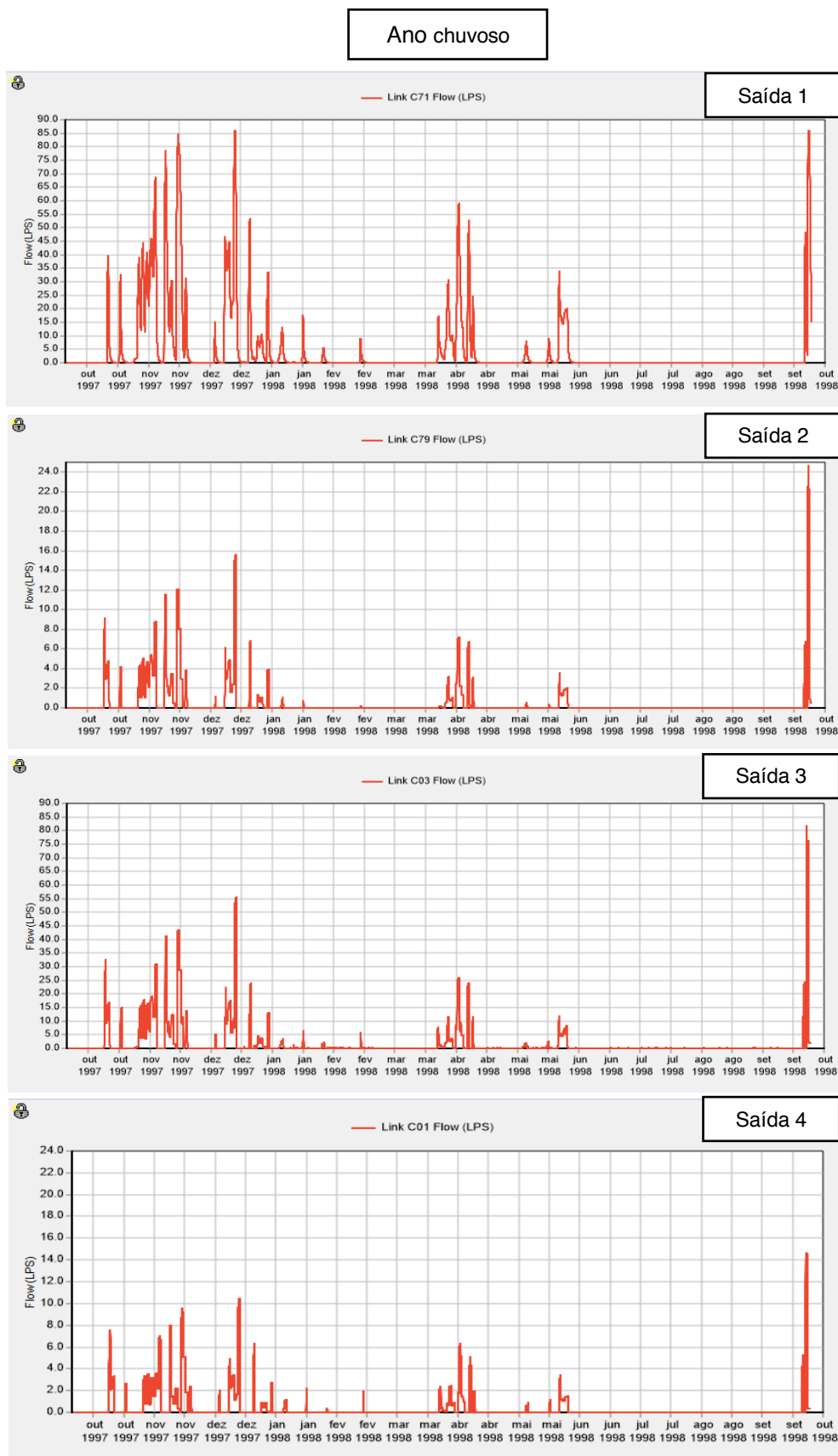
<b>Meses (Ano médio)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	52,5	4536	140.616
Novembro	20	1728	51.840
Dezembro	15,9	1373,76	42.586,56
Janeiro	26	2246,4	69.638,4
Fevereiro	10	864	24.192
Maio	31	2678,4	83.030,4
<b>Total</b>	<b>155,4</b>	<b>13.426,56</b>	<b>411.903,36</b>

- Saída 4 (C01):

**Tabela 24** - Quantidade de água que sai da saída 4 durante um ano médio.

<b>Meses (Ano médio)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	10,5	907,2	28.123,2
Novembro	4	345,6	10.368
Dezembro	4	345,6	10.713,6
Janeiro	7	518,4	16.070,4
Fevereiro	2	172,8	4838,4
Maio	7	604,8	18.748,8
<b>Total</b>	<b>34,5</b>	<b>2980,8</b>	<b>88.862,4</b>

Ano chuvoso:



**Figura 70** - Escoamento em LPS relativos a cada saída do sistema de águas pluviais da UA para o ano chuvoso. Em que: saída 1 é a saída da lagoa 1; saída 2 é relativa à vala para a Ria de Aveiro; saída 3 é a saída da lagoa ETAR e saída 4 é saída relativa à Fonte da Pega.

Através do estudo dos gráficos da figura anterior foi possível fazer as seguintes estimativas relativas à quantidade de água que sai em cada saída do sistema de águas pluviais da UA:

- Saída 1 (C71):

**Tabela 25** - Quantidade de água que sai da saída 1 durante um ano chuvoso.

<b>Meses (Ano chuvoso)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	40	3456	107.136
Novembro	85	7344	220.320
Dezembro	86	7430,4	230.342,4
Janeiro	30	2592	80.352
Fevereiro	9	777,6	217.772,8
Abril	57	4924,8	147.744
Maio	32	2764,8	85.708,8
Setembro	86	7430,4	222.912
<b>Total</b>	<b>425</b>	<b>36.720</b>	<b>1.312.288</b>

- Saída 2 (C79):

**Tabela 26** - Quantidade de água que sai da saída 2 durante um ano chuvoso.

<b>Meses (Ano chuvoso)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	9	777,6	24.105,6
Novembro	12	1036,8	31.104
Dezembro	15,9	1373,76	42.586,56
Janeiro	4	345,6	10.713,6
Abril	7	604,8	18.144
Maio	3,9	336,96	10.445,76
Setembro	25	2160	64.800
<b>Total</b>	<b>76,8</b>	<b>6635,52</b>	<b>201.899,52</b>

- Saída 3 (C03):

**Tabela 27** - Quantidade de água que sai da saída 3 durante um ano chuvoso.

<b>Meses (Ano chuvoso)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	32,5	2808	87.048
Novembro	47	4060,8	121.824
Dezembro	55	4752	147.312
Janeiro	14	1209,6	38.497,6
Fevereiro	5	432	12.096
Abril	25	2160	64.800
Maio	11	950,4	29.462,4
Setembro	81	6998,4	209.952
<b>Total</b>	<b>270,5</b>	<b>23.371,2</b>	<b>709.992</b>

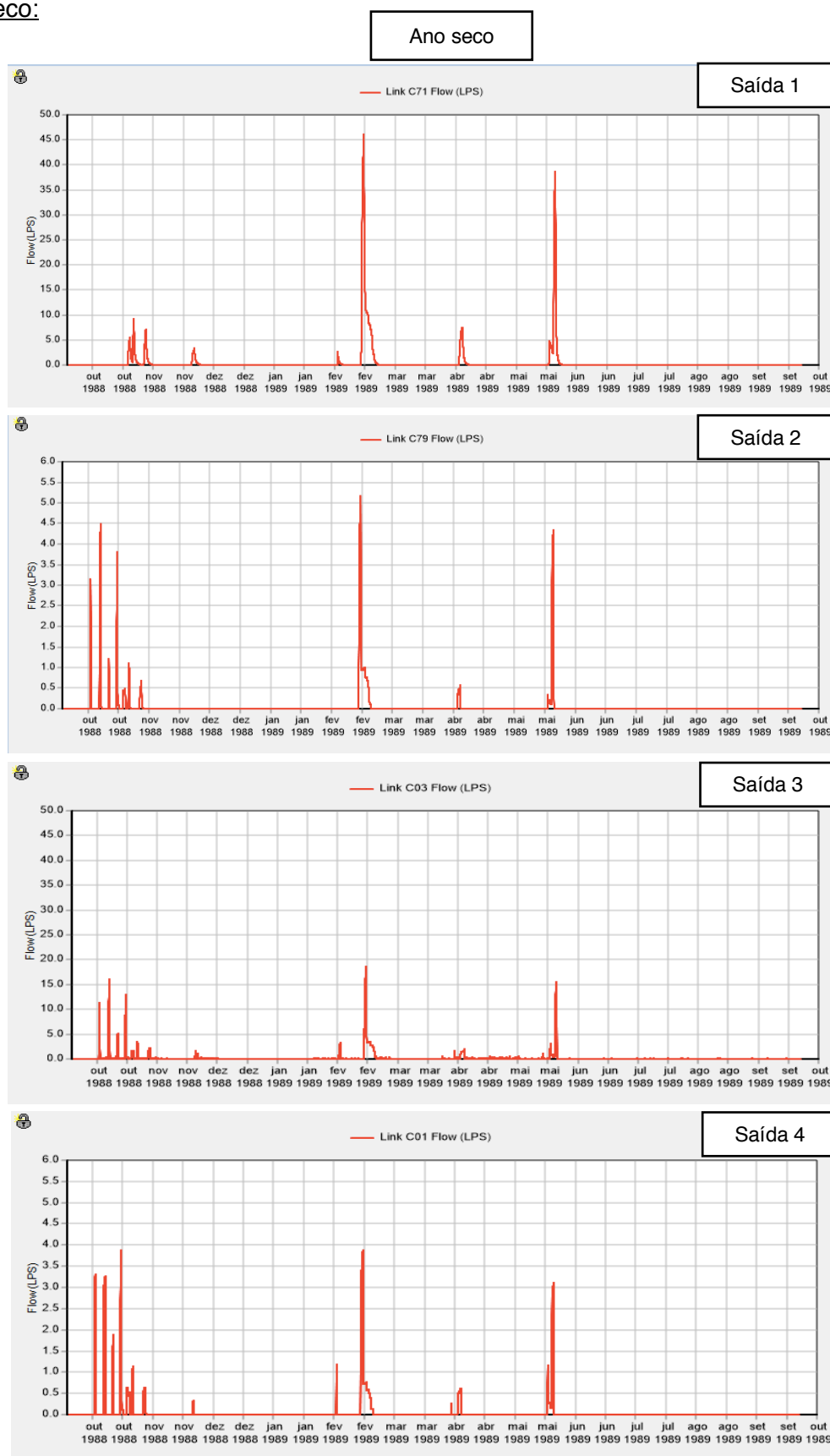
- Saída 4 (C01):

**Tabela 28** - Quantidade de água que sai da saída 4 durante um ano chuvoso.

<b>Meses (Abo chuvoso)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	8	691,2	21.427,2
Novembro	8,5	734,4	22.032
Dezembro	10,5	907,2	28.123,2
Janeiro	2,5	216	6696
Fevereiro	2	172,8	4838,4
Março	2	172,8	5356,8
Abril	5,5	475,2	14.256
Maio	3,5	302,4	9374,4
<b>Total</b>	<b>42,5</b>	<b>3672</b>	<b>112.104</b>



Ano seco:



**Figura 71** - Escoamento em LPS relativos a cada saída do sistema de águas pluviais da UA para o ano seco. Em que: saída 1 é a saída da lagoa 1; saída 2 é relativa à vala para a Ria de Aveiro; saída 3 é a saída da lagoa ETAR e saída 4 é saída relativa à Fonte da Pega.

- Saída 1 (C71):

**Tabela 29** - Quantidade de água que sai da saída 1 durante o ano seco.

<b>Meses (Ano seco)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	6	518,4	16.070,4
Novembro	2,5	216	6480
Fevereiro	46	3974,4	111.283,2
Abril	7	604,8	18.144
Maio	39	3369,6	104.457,6
<b>Total</b>	<b>100,5</b>	<b>8683,2</b>	<b>256.435,2</b>

- Saída 2 (C79):

**Tabela 30** - Quantidade de água que sai da saída 2 durante o ano seco.

<b>Meses (Ano seco)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	4,5	388,8	12.052,8
Fevereiro	5,1	440,64	12.337,92
Maio	4,25	367,2	11.383,2
<b>Total</b>	<b>13,85</b>	<b>1196,64</b>	<b>35.773,92</b>

- Saída 3 (C03):

**Tabela 31** - Quantidade de água que sai da saída 3 durante o ano seco.

<b>Meses (Ano seco)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	16	1382,4	42.854,4
Novembro	2	172,8	5184
Fevereiro	19	1641,6	45.964,8
Abril	2	172,8	5184
Maio	15,8	1365,12	42.318,72
<b>Total</b>	<b>54,8</b>	<b>4734,72</b>	<b>141.505,92</b>

- Saída 4 (C01):

**Tabela 32** - Quantidade de água que sai da saída 4 durante o ano seco.

<b>Meses (Ano seco)</b>	<b>Quantidade de água (LPS)</b>	<b>Quantidade de água (m³/dia)</b>	<b>Quantidade de água (m³/mês)</b>
Outubro	3,5	302,4	9374,4
Novembro	0,6	51,84	1555,2
Fevereiro	4	345,6	13.132,8
Abril	0,6	51,84	1555,2
Maio	3,6	311,04	9642,24
<b>Total</b>	<b>12,3</b>	<b>1062,72</b>	<b>35.259,84</b>

No geral, a quantidade de água total que sai do sistema é superior a mais de 1 milhão de metros cúbicos de água por ano (ano médio), conforme indica a tabela 33. Isto quer dizer que existe um potencial de reutilização desta água de mais de 1 milhão de metros cúbicos num ano médio, mais de 2 milhões num ano chuvoso e quase meio milhão de metros cúbicos num ano seco.

**Tabela 33** – Resumo da água total desperdiçada para cada tipo de ano.

Ano	Total de água que sai do sistema (m³/ano)
Médio	1.479.228,48
Chuvoso	2.336.283,52
Seco	465.974,88

Relativamente à saída 1 que é a saída da lagoa 1 (conduta C71), a quantidade de água que sai é de:

- Ano médio: 865.123,2 m³/ano;
- Ano chuvoso: 1.312.288 m³/ano;
- Ano seco: 256.435,2 m³/ano.

### 4.3. Resultados das análises laboratoriais

#### 4.3.1. 1ª parte

A primeira parte relativa às análises laboratoriais foi realizada com o intuito principal de perceber se existia contaminação por parte da conduta da CMA com ligação à Universidade (ver ponto 5.1.2 alínea b). Desta forma, as análises passaram pelo ponto em que a conduta da CMA se conectava à rede de coletores de águas pluviais do Campus e também no ponto de entrada da lagoa 1.

O Oxigénio Dissolvido (OD) é um indicador bastante importante relativo à qualidade das águas superficiais. A ausência de OD dá espaço para o desenvolvimento de espécies anaeróbicas, conduzindo a um desequilíbrio no ecossistema aquático (Monteiro, 1997).

A Carência Bioquímica de Oxigénio (BOD) é a quantidade de oxigénio consumido por microrganismos aeróbicos durante a decomposição de matéria orgânica, numa amostra de água. Esta está diretamente relacionada com o Oxigénio dissolvido, pois se a quantidade de OD for pequena a quantidade de BOD aumenta. Com estes dois parâmetros é possível perceber qual é o nível de poluição orgânica da água (Monteiro, 1997).

Relativamente aos sólidos suspensos, estes são resíduos ou sólidos de todas as matérias suspensas ou dissolvidas na água, ou seja, são a matéria que permanece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação, a uma determinada temperatura padrão e por

um tempo fixo de um volume de amostra conhecido. Os sólidos suspensos podem-se dividir em três tipos: Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV).

Este parâmetro é importante para a análise da qualidade da água, pois com o aumento da concentração de sólidos em suspensão, a penetração de luz solar na água diminui, reduzindo por consequência a fotossíntese e tornando a água mais turva. Na tabela 34 encontram-se as quantidades de sólidos suspensos em cada ponto analisado.

**Tabela 34** – Resultados das análises da 1ª parte do trabalho laboratorial.

Pontos de recolha	Data de recolha	OD inicial (mg/L)	OD final (mg/L)	CBO (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)
Conduta de Ligação CMA	16 Out. 2017	8,45	7,92	0,53	4,10	2,10	2,00
Entrada Lagoa 1	16 Out. 2017	6,86	0,21	>7	4,80	0,45	4,35
Conduta de Ligação CMA	30 Out. 2017	8,97	8,21	0,76	3,92	2,33	1,58
Entrada Lagoa 1	13 Nov. 2017	8,69	8,09	0,60	5,83	3,67	2,17
Conduta de Ligação CMA	13 Nov. 2017	6,58	3,78	2,80	2,27	1,40	0,87
Entrada Lagoa 1	21 Nov. 2017	8,25	4,14	4,11	19,67	12,92	6,75
Conduta de Ligação CMA	21 Nov. 2017	2,41	0,12	>7	5,00	4,00	1,00
Saída ETAR (3)	24 Nov. 2017	7,12	0,39	>7	5,18	1,36	3,82

Portanto, analisando a tabela 34 é possível concluir que existem 3 pontos em que há contaminação pontual. São eles:

- Entrada Lagoa 1 no dia 16 de outubro de 2017;
- Conduta de Ligação CMA com o Campus no dia 21 de novembro de 2017;
- Saída 3 no dia 24 de novembro de 2017.

Estas contaminações, são contaminações pontuais, pois apenas ocorreram nos dias referidos.

#### 4.3.2. 2º parte

A segunda parte deste trabalho foi realizada com o objetivo de perceber se existia contaminação nas saídas do sistema da rede de águas pluviais da UA e também, se era possível reutilizar a água existente na lagoa 1 para rega dos espaços verdes existentes no Campus, sem tratamento desta. Para isso foram feitas análises de fevereiro a maio, onde além das análises dos parâmetros de qualidade da água mais comuns (conforme a 1ª parte), também foram analisados outros parâmetros, nomeadamente: Cloretos, Metais e Nitratos, além disto foram feitas análises microbiológicas. Posteriormente, estes parâmetros foram comparados com o DL nº236/98 (Diário da República, 1998) que anexa Valores Máximos e Recomendados (VMR) de vários parâmetros referentes à qualidade das águas destinadas a rega.

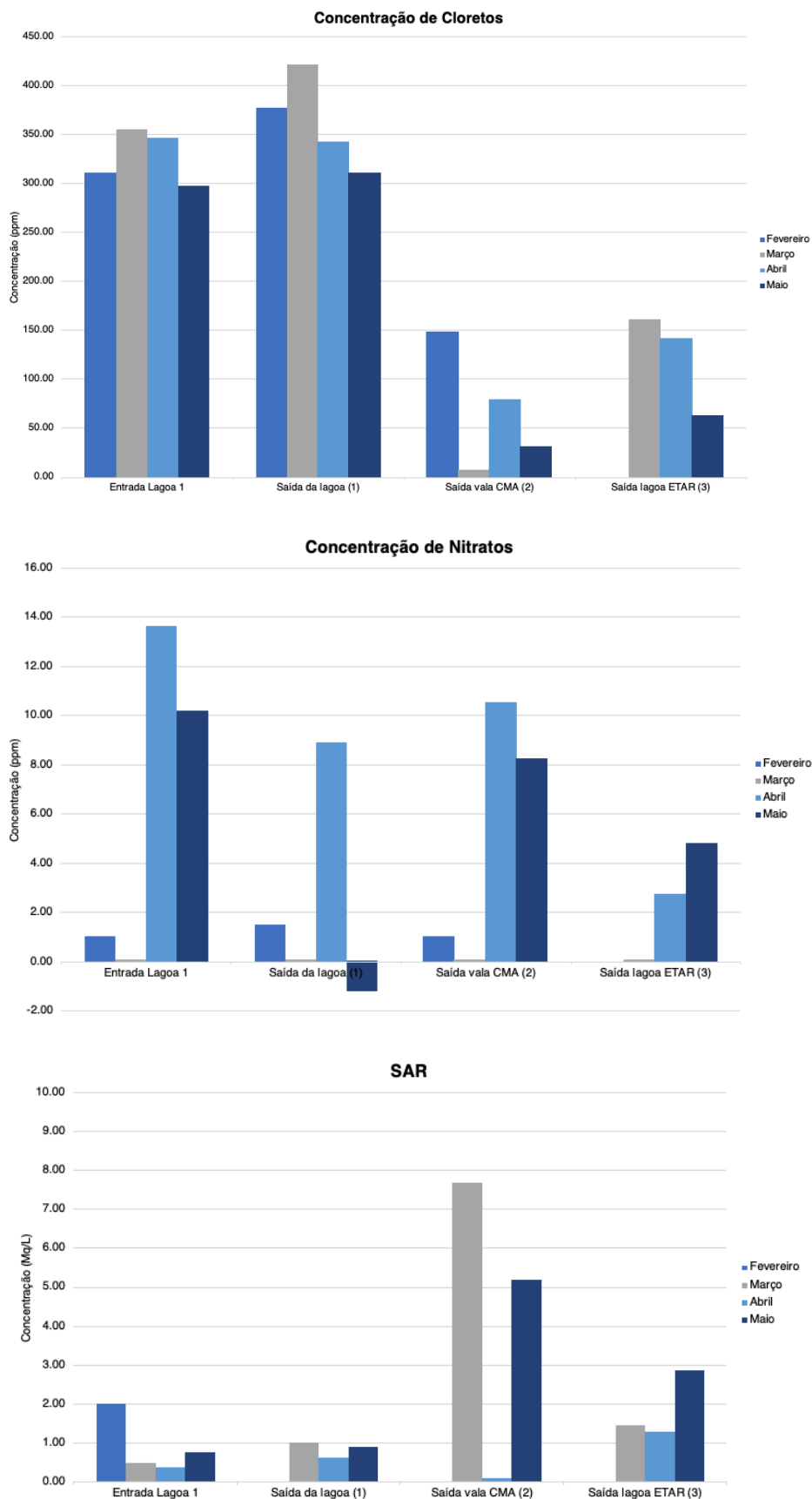
A análise do teor de cloretos nas águas tem por finalidade obter informações sobre o seu grau de poluição, pois o principal anião presente em águas residuais é o cloreto. A análise de nitratos e metais é um importante parâmetro relativo à qualidade das águas destinadas a rega, pois este pode acumular-se nas águas subterrâneas prejudicando os lençóis freáticos, as análises microbiológicas são um indicador da qualidade da água como veículo de transmissão de doenças que podem afetar a saúde pública (Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas, 2013).

A tabela seguinte apresenta os valores das análises de OD, BOD e Sólidos de cada saída do sistema e na entrada na lagoa 1.

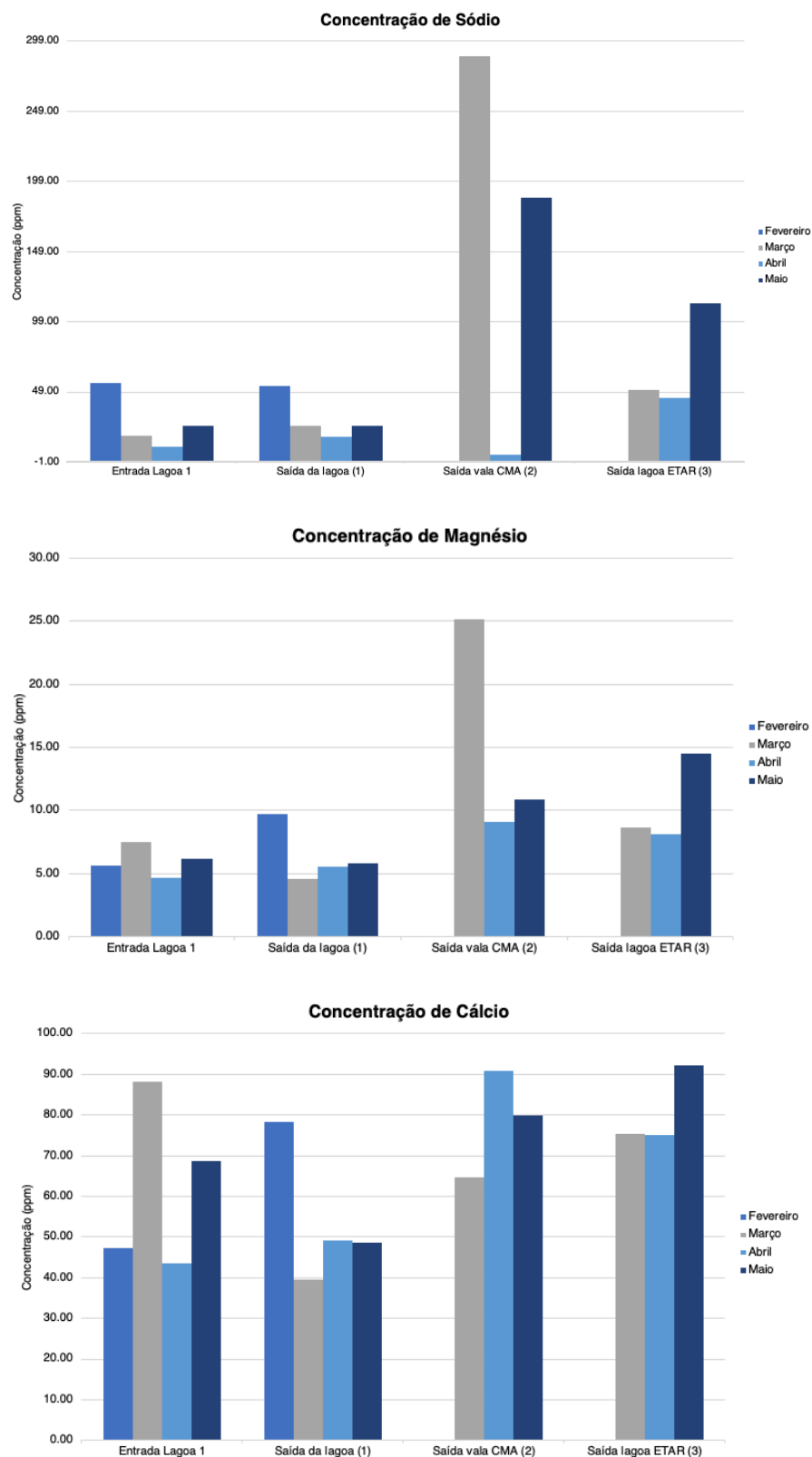
**Tabela 35** - Resultados das análises da 2ª parte do trabalho laboratorial.

Pontos de recolha	Data de recolha	OD inicial (mg/L)	OD final (mg/L)	CBO (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)
Saída ETAR (3)	22 Fev. 2018	3,71	1,45	2,26	0,09	0,03	0,05
Entrada Lagoa 1	22 Fev. 2018	3,71	1,63	0,54	0,05	0,04	0,01
Saída Lagoa 1 (1)	22 Fev. 2018	3,71	4,32	0,62	0,11	0,10	0,01
Saída ETAR (3)	20 Mar 2018	8,07	3	5,07	0,19	0,07	0,12
Entrada Lagoa 1	20 Mar 2018	9,45	9,22	0,23	0,22	0,21	0,01
Saída Lagoa 1 (1)	20 Mar 2018	8,5	6,65	1,85	0,20	0,15	0,04
Saída vala CMA (2)	20 Mar 2018	8,22	6,15	2,07	0,19	0,14	0,05
Saída ETAR (3)	30 Abril 2018	7,87	2,9	4,97	0,18	0,07	0,11
Entrada Lagoa 1	30 Abril 2018	8,72	6,72	2	0,20	0,16	0,05
Saída Lagoa 1 (1)	30 Abril 2018	5,34	4,17	1,17	0,12	0,10	0,03
Saída vala CMA (2)	30 Abril 2018	8,49	7,19	1,3	0,20	0,17	0,03
Saída ETAR (3)	30 Maio 2018	7,49	4,93	2,56	0,17	0,11	0,06
Entrada Lagoa 1	30 Maio 2018	9,08	8,59	0,49	0,21	0,20	0,01
Saída Lagoa 1 (1)	30 Maio 2018	5,37	4,52	0,85	0,12	0,10	0,02
Saída vala CMA (2)	30 Maio 2018	8,51	6,88	1,63	0,20	0,16	0,04

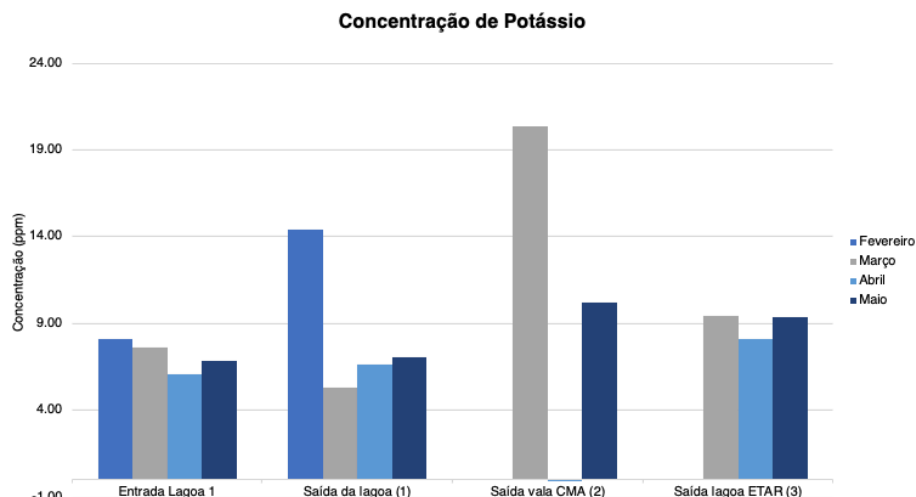
Através da análise da tabela anterior, percebe-se que não existe contaminação de nenhum ponto. Analogamente, com a análise de nitratos e SAR e comparando com os valores do relativos à qualidade da água destinadas a rega (ver anexo IV), também, nem a lagoa 1 nem as saídas do sistema apresentam contaminação – figura 72. Contudo, isto não acontece com as análises relativas aos cloretos que ultrapassa, bastante, o VMR. Estes valores elevados podem ser devido a um erro de análise em que o cloreto sofreu interferência com concentrações elevadas de catiões (é possível verificar as concentrações elevadas desses catiões nas figuras 73 e 74), no entanto só é possível saber a certeza se estes valores estão corretos ou não com a realização de mais análises.



**Figura 72** - Concentrações de cloretos, SAR e nitratos nas saídas do sistema e entrada da lagoa 1 de fevereiro a março.



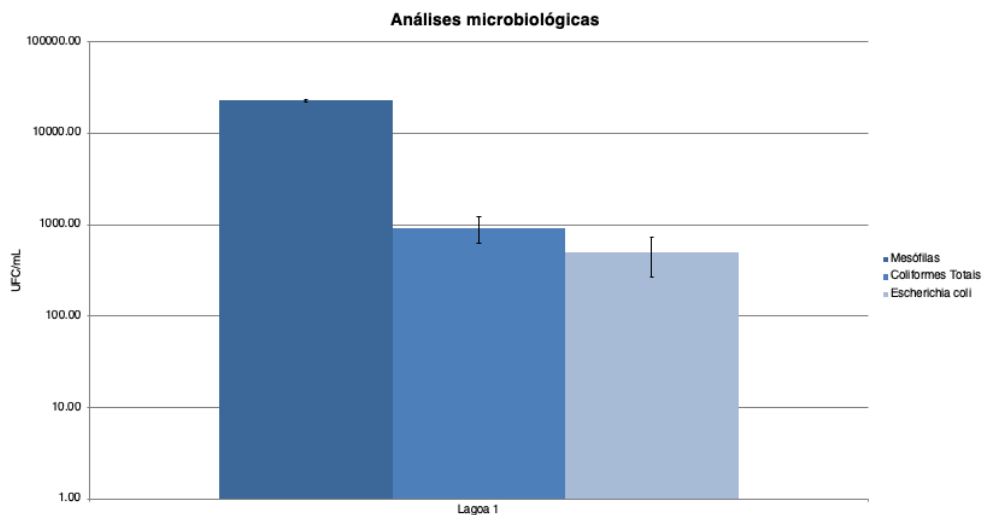
**Figura 73** – Concentração de sódio, magnésio e cálcio nas saídas do sistema e entrada da lagoa 1 de fevereiro a março.



**Figura 74** - Concentração de potássio nas saídas do sistema e entrada da lagoa 1 de fevereiro a março.

É importante referir que ao longo destas análises aconteceram imprevistos, como por exemplo a falta de água suficiente na caixa de visita tornando-se impossível recolhê-la para analisá-la.

Referentemente às análises microbiológicas, estas mostram contaminação fecal da lagoa 1, conforme é possível ver na figura em baixo. O limite recomendado pelo decreto-lei nº236/98 é de 100/100mL, sendo que este valor é amplamente ultrapassado.



**Figura 75** - Resultados relativos às análises microbiológicas da lagoa 1.

Posto estes resultados, o Campus de Santiago tem bastante potencial para se tornar um Campus com eficiência hídrica, em que se poderiam reutilizar as águas provenientes da



chuva, armazená-las, tratá-las e reutilizá-las para rega de jardins. O capítulo seguinte discute estas questões, e também expõe uma abordagem sobre a capacidade das três lagoas existentes no Campus da UA em relação à reutilização das suas águas armazenadas para regadio dos espaços verdes.

#### **4.4. Análise da situação atual do Campus de Santiago**

Como foi possível verificar na simulação de precipitação intensa, o sistema de drenagem de águas pluviais do Campus de Santiago tem bastantes problemas a nível da capacidade das condutas existentes e problemas de inundações de algumas caixas de visita. Portanto, seria apropriado algumas alterações na rede para que se conseguisse que esta ficasse menos sobrecarregada em alturas de maior precipitação.

O Campus de Santiago tem uma área total de cerca de 363.658 m<sup>2</sup>, sendo que 43% desta área corresponde a espaços permeáveis (154.744 m<sup>2</sup>) e 57% corresponde à área impermeável (cerca de 208.914 m<sup>2</sup>).

Sendo o Campus constituído por uma área permeável bastante significativa, este necessita de manutenção dos seus espaços verdes para que todos possam usufruir da beleza que o Campus da Universidade de Aveiro oferece. Desta forma, o regadio destes espaços é bastante essencial, contudo torna-se insustentável regar uma área tão grande com água “comprada”.

Assim, torna-se essencial considerar uma análise de rega de forma a perceber quais as necessidades hidrológicas dos espaços verdes existentes no Campus, e também se existe um volume de água suficiente na lagoa 1 para ser possível a sua reutilização para rega. Nos pontos seguintes encontra-se esta discussão.

#### **4.5. Análise de rega**

Sendo a lagoa 1 uma das medidas LID aplicadas atualmente no Campus com a função de retenção de águas pluviais, esta também poderia ter uma outra utilidade – a reutilização da sua água armazenada para fins de rega de jardins. Para fazer esta análise, foi necessário discutir o volume de água disponível que pode ser utilizado para rega durante o período mais crítico. Foram considerados os meses com a precipitação inferior à evaporação, que foram: março, junho, julho, agosto e setembro.

Para perceber se a água disponível na lagoa 1 durante os meses referidos anteriormente é suficiente para regar toda a área verde da UA, foi necessário recorrer a outra simulação em que se colocou um caudal de saída, como por exemplo uma bomba a tirar água durante esses meses.

Além disto, também foi necessário obter valores de dotação de rega, ou seja, os valores das dotações de rega de referência que correspondem às necessidades reais de rega para cada cultura (Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, 2018).

Com este objetivo em mente, foi necessário perceber como é que se torna eficiente o uso da água de rega num espaço verde, assim, segundo Lima, 2012 o espaço de um campo de golfe deverá ser dividido em hidrozonas. Uma hidrozona é definida como a aglomeração de espécies de vegetação com necessidades hídricas e densidades semelhantes, sujeitas às mesmas situações climáticas e de gestão. Num espaço verde podem-se encontrar quatro tipos de hidrozonas:

- 1) Hidrozona principal: representa a área de maior atividade humana e interação com o espaço verde. Numa moradia é a zona privilegiada junto à habitação dando uma maior sensação de frescura;
- 2) Hidrozona secundária: zonas funcionalmente mais passivas, utilizadas para delimitar espaços e desenhos;
- 3) Hidrozona mínima: corresponde às plantas que requerem uma quantidade mínima de água para sobreviver às condições climáticas. Estas zonas têm geralmente um contacto muito escasso com as pessoas;
- 4) Hidrozona elementar: inclui plantações capazes de sobreviver em ambientes de precipitação natural, não necessitando de rega complementar. São áreas de plantas autóctones e zonas de mulching, e raramente entram em interação com as pessoas (Lima, 2012).

Portanto, a hidrozona que mais se adequa ao caso de estudo é a hidrozona principal. O próximo passo foi perceber qual é objetivo da rega no caso de estudo. Segundo (Lima, 2012), existem duas estratégias de rega, são elas:

- Rega total (RT): prevê a máxima produção, ou seja, défice de água consentido (MAD) é igual à fração da água de solo esgotável sem provocar stress hídrico ( $p$ ). Nesta estratégia não se fixa o intervalo nem dotação de rega;
- Rega deficitária (RD): estratégia de rega com défice hídrico em que  $MAD > p$  (Lima, 2012).

No que respeita à RT esta permite identificar o volume de rega para as condições de máxima produção, ou seja, a rega total tem como objetivo manter a situação de conforto

hídrico para a cultura, ou seja, sem qualquer tipo de stress hídrico ao longo do seu ciclo (Lima, 2012).

No caso da rega deficitária (RD), esta visa a adoção de estratégias de rega deficitárias ( $MAD > p$ ) onde se determinam os vários volumes de rega de acordo com diferentes défices definidos. Para esta estratégia, (Lima, 2012) definiu dois défices: 20 que excede o valor de  $p$  em 20 % e 40 que excede o valor de  $p$  em 40 %.

A melhor estratégia adota seria manter um “tapete verde” à volta do Campus, no entanto é preciso entender que tal não é possível, pois além de a água ser um recurso natural escasso, é difícil para a Universidade conseguir manter essas necessidades hidrológicas da relva com uma estratégia de RT. Neste sentido, a estratégia escolhida para este caso de estudo foi a de Rega Deficitária (RD) a 40%. A dotação deficitária a 40% para a hidrozona 1 é de 10 mm com intervalo de 5,1 dias de rega, ou seja, uma taxa média de 2 mm/dia (Lima, 2012). Nos pontos seguintes irão ser analisadas duas situações de rega: situação para rega de toda a área permeável do Campus e situação da área verde que é regada por um furo num poço existente na UA.

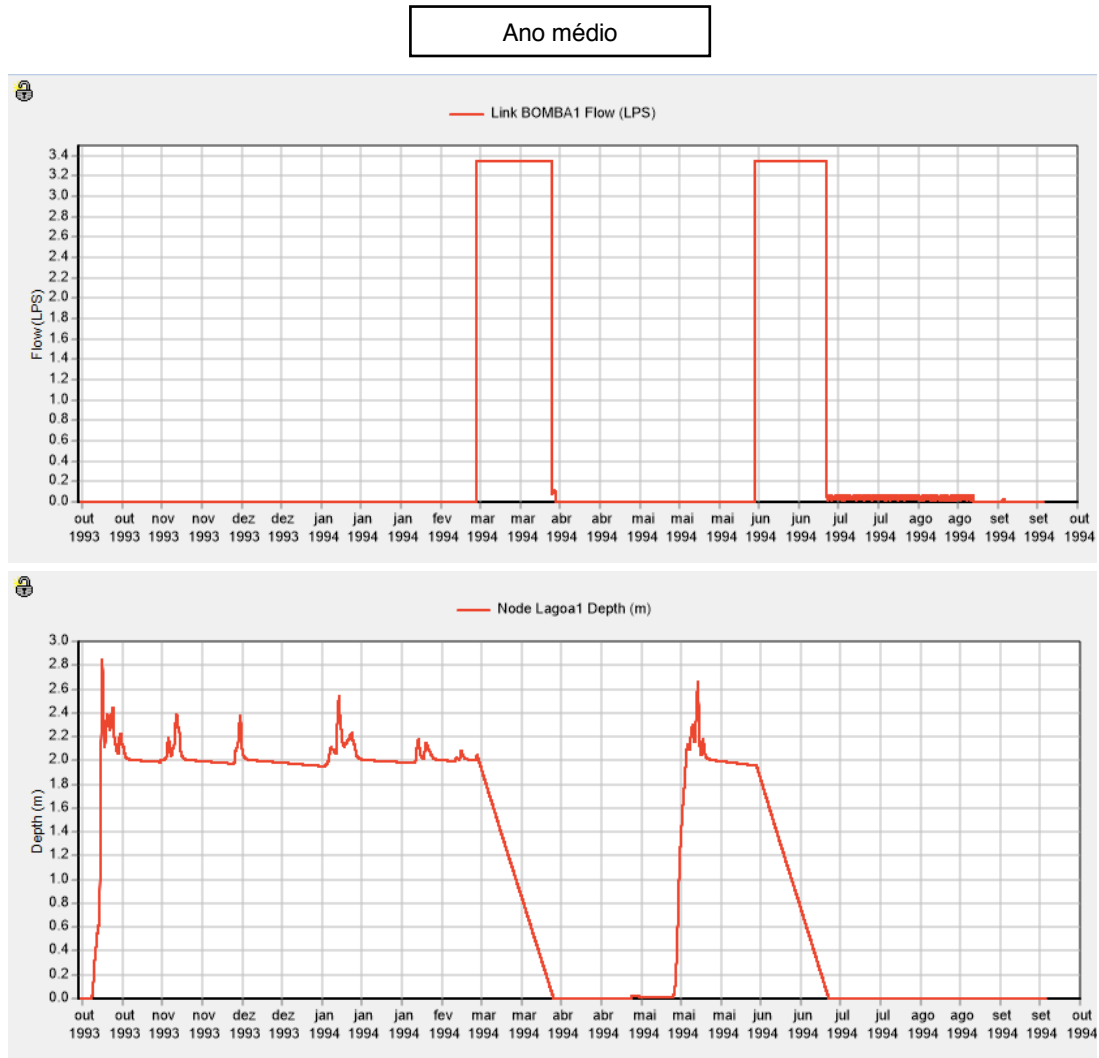
#### **4.5.1. Situação de rega para a área total permeável do Campus**

Como já referido anteriormente, o total da área permeável do Campus de Santiago é de cerca de 154.744 m<sup>2</sup> (43% da área total). A lagoa 1, a lagoa 2 e a lagoa ETAR são áreas azuis logo não necessitam de rega. Estas têm 4108 m<sup>2</sup>, 1000 m<sup>2</sup> e 5051 m<sup>2</sup> de área respetivamente (tabela 13), portanto, desta forma, o total de área verde existente no Campus é de cerca de 144.585 m<sup>2</sup>.

Atualmente, o Campus apenas consegue reter a água pluvial que vai para a saída 1, pois é onde se encontra uma das infraestruturas LID – a lagoa 1. A água armazenada nesta infraestrutura poderia ser reutilizada para regadio da área total permeável do Campus da UA. Portanto, foi criada uma análise de forma a perceber se a lagoa 1 tem capacidade suficiente para regar uma área de cerca de 144.585 m<sup>2</sup> nos meses referidos anteriormente. Assim, através de novas simulações no SWMM (uma para cada ano hidrológico: médio, seco e chuvoso) foi colocada uma bomba para bombear a água da lagoa 1 durante os meses necessários. Nestas simulações foi utilizada a estratégia RD a 40%, pois para regadio dos jardins do Campus de Santiago não é necessário utilizar uma estratégia RT.

Na situação de rega RD a 40%, a quantidade de água necessária para regar toda a área verde disponível no Campus é de 289,17 m<sup>3</sup>/dia (3,35LPS), ou seja 8675,1 m<sup>3</sup> num mês. Portanto num ano (assumindo que são regados apenas 5 meses), a quantidade de água necessária seria de 43.375,5 m<sup>3</sup>.

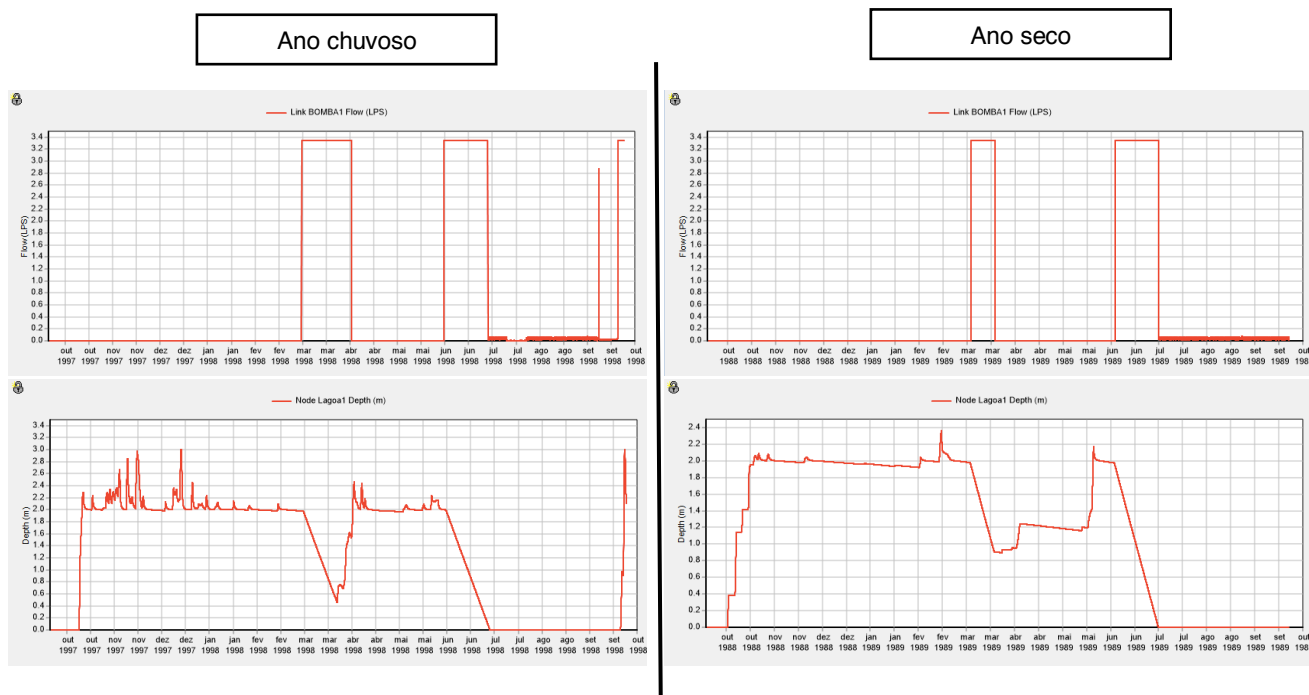
Os seguintes gráficos referem-se à quantidade de água retirada pela bomba nos meses de março e junho a setembro do ano hidrológico médio para a situação de rega da área total permeável do Campus. Antes de mais, é importante notar que, a curva da bomba é definida conforme a área que é necessário regar (ver tabela 15).



**Figura 76** - Em cima: comportamento da bomba 1 no ano médio; em baixo: comportamento da lagoa 1 quando esta tem a ligação de uma bomba no ano médio em situação de rega de toda a área permeável do Campus.

Adicionalmente, pela leitura dos gráficos anteriores, referentes ao ano médio, também é possível perceber que a lagoa 1 não consegue ter água suficiente para regar os jardins durante todos os meses de rega, pois a bomba consegue trabalhar durante quase todo o mês de março retirando cerca de 3,35 LPS, no entanto, a partir de junho a bomba só consegue bombear água da lagoa 1 até perto do fim de junho, devido à falta de água. A bomba 1 foi definida com condições de arranque e de paragem: liga quando a altura da lagoa 1 é máxima (3 metros) e desliga quando a lagoa 1 atinge uma altura mínima de 1,5 metros.

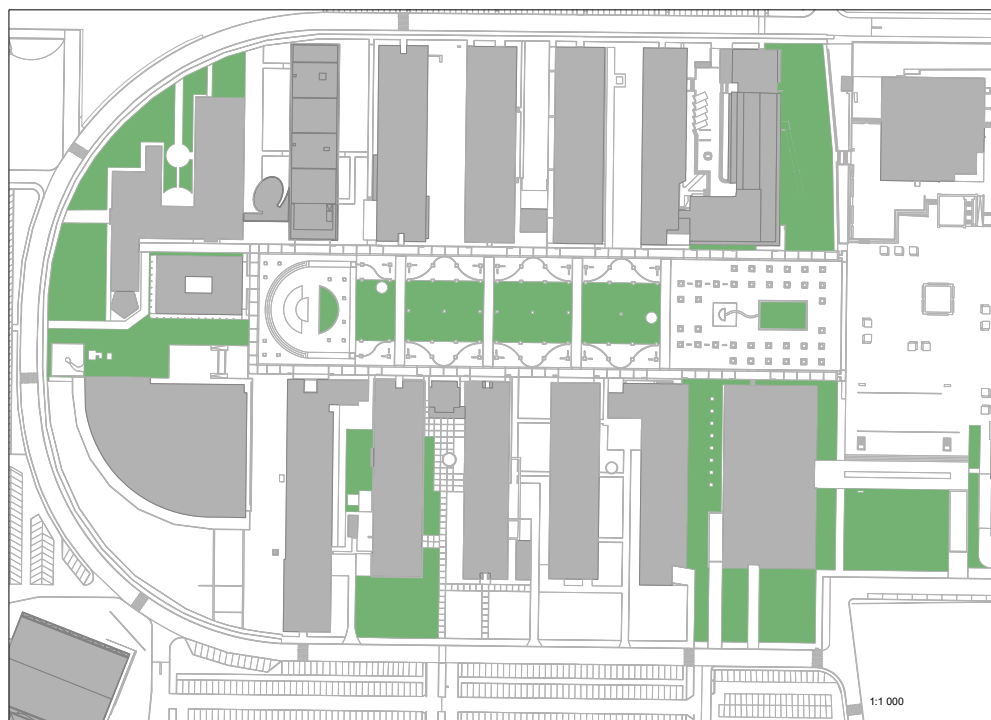
Analogamente ao ano médio, o ano chuvoso e o ano seco têm o mesmo comportamento, ou seja, a lagoa 1 não tem a água que é necessária ser bombada de junho a setembro. Contudo, no ano chuvoso é possível retirar água no mês de setembro e isto deve-se ao facto de neste mês ter havido bastantes episódios de precipitação. No ano seco a quantidade de água é menor, principalmente em março, como seria de esperar (figura 77).



**Figura 77** - Comportamento da bomba 1 e da lagoa 1 num ano chuvoso Vs o comportamento da bomba 1 e da lagoa 1 num ano seco em situação de rega de toda a área permeável do Campus.

#### 4.5.2. Situação da área verde regada pelo furo

Segundo os SGTL, cerca de 13.361 m<sup>2</sup> da área do Campus de Santiago é regada por água existente num poço (figura 78). A restante área é regada por água comprada à CMA.



**Figura 78** – Planta do Campus de Santiago com as zonas verdes que são regadas pelo poço (13.361 m<sup>2</sup>).

De igual forma à área total permeável do Campus da UA, foi necessário, também, recorrer a uma análise de rega correspondente à área que é regada pelo poço. Portanto, assumindo que a dotação da relva for deficitária a 40%, a quantidade de água necessária para regadio de toda esta área seria de 26,7 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, 801,7 m<sup>3</sup>/mês (0,31 LPS). Assumindo a necessidade de haver rega apenas durante os meses em que a precipitação é inferior à evaporação, o consumo de água total usado para rega é de cerca de 4008 m<sup>3</sup> num ano.

Os SGTL forneceram o volume de água bombado (do poço) no ano passado (2017) para regadio da área anteriormente mencionada, que rondou os 16.833 m<sup>3</sup> a maior parte entre os meses de maio e outubro.

Assim entende-se que o volume bombado é bastante superior ao volume calculado. Esta diferença entre o valor bombado e calculado pode ser derivado a duas razões:

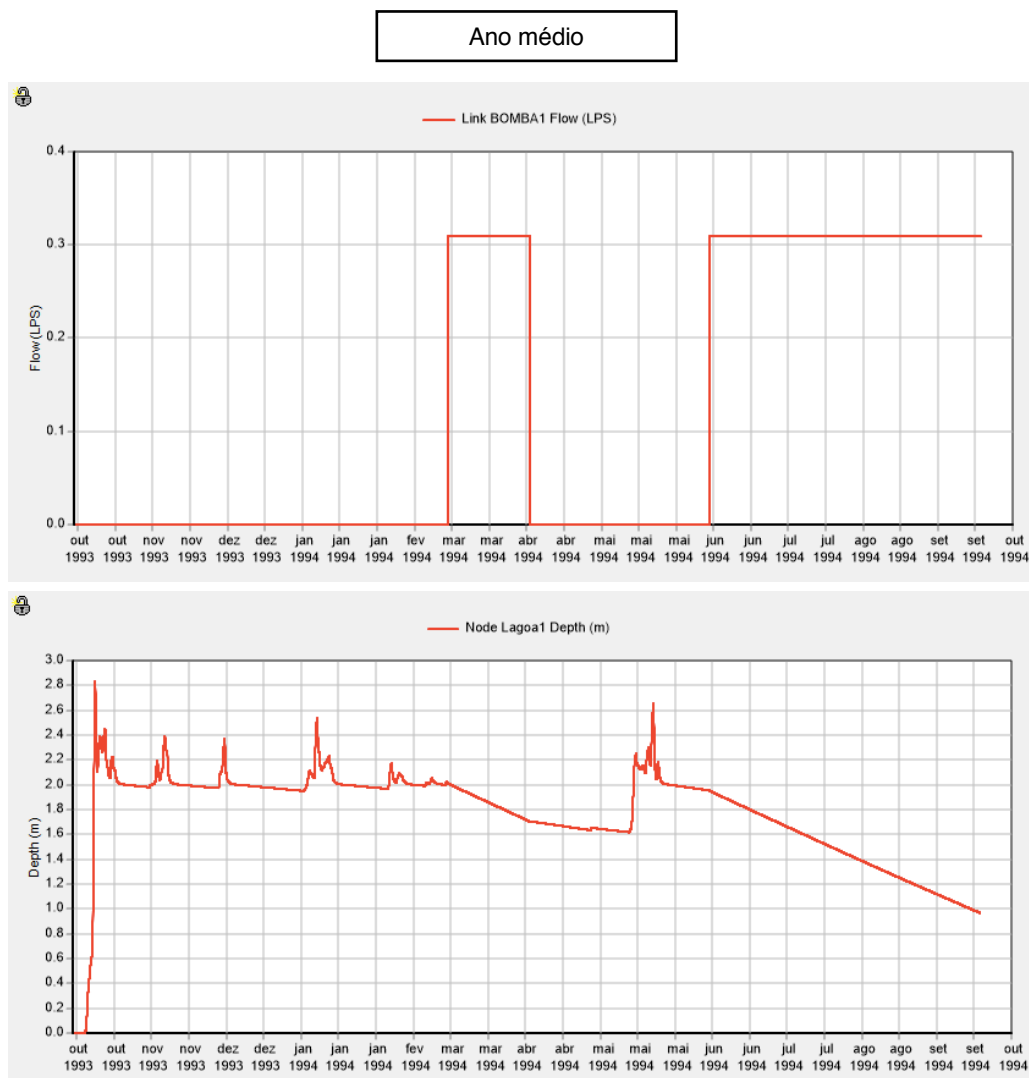
- A rega no campus ser feita durante todos os meses do ano;
- Utilizam estratégia de RT em vez da estratégia RD, em que a dotação da RT seria de 13,5 mm com um intervalo de 5,2 dias, ou seja, a uma taxa média de 2,60 mm/dia (Lima, 2012).

Em ambos os casos, o valor calculado continua a ser bastante inferior, ou seja, o valor que é bombado para regar cerca de 13.361 m<sup>2</sup> de área verde é bastante elevado, desta forma

existe um desperdício de água de cerca de 12.022 m<sup>3</sup> utilizando a estratégia RD e de 10.580 m<sup>3</sup> utilizando a estratégia de RT. Este desperdício de água poderia ser usado para regar uma área maior.

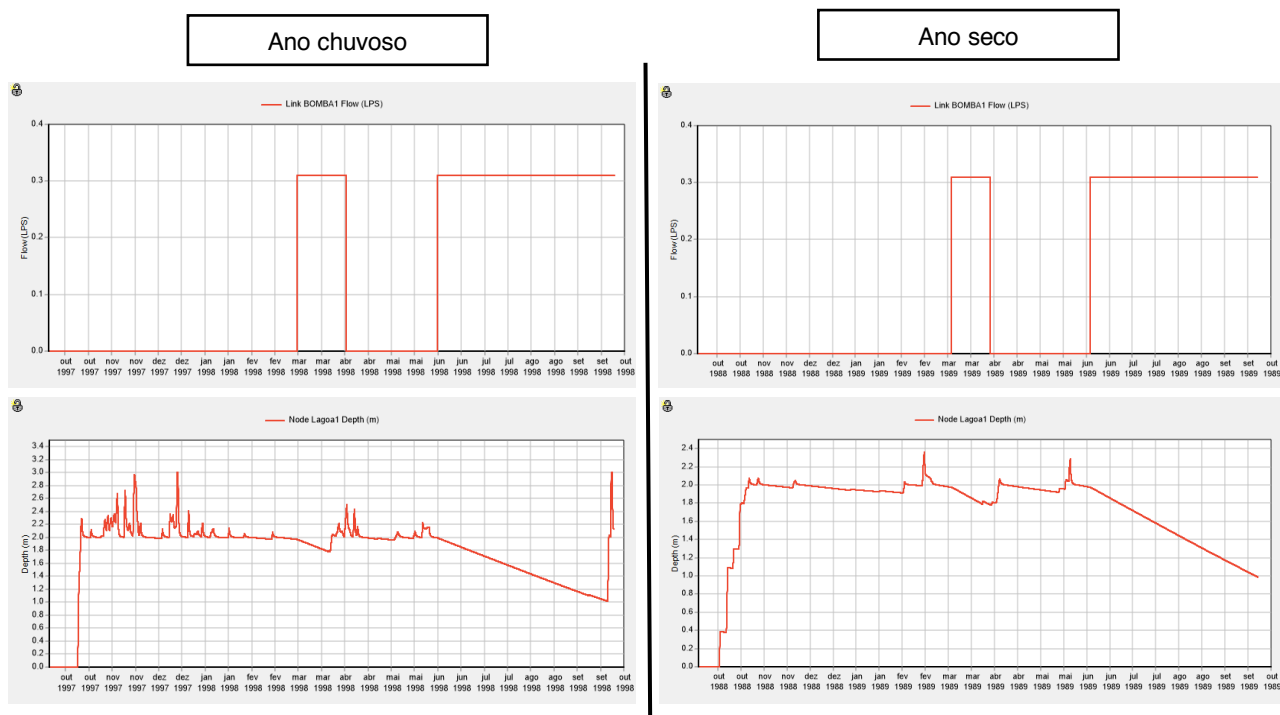
Além disto e analogamente à análise de rega para a área total permeável da UA, foi realizada uma simulação no SWMM de forma a ser possível discutir a capacidade da lagoa 1 para alimentar a rega para os 13.361 m<sup>2</sup> (área regada atualmente pelo poço). Esta simulação, foi realizada em circunstâncias de RD a 40% com um volume de água bombado de 0,31 LPS (situação de rega sem desperdício de água).

Como é possível perceber na figura 79, para um ano médio a lagoa 1 tem capacidade para regar os espaços verdes durante os meses necessários: março, junho, julho, agosto e setembro.



**Figura 79** - Em cima: comportamento da bomba 1 no ano médio; em baixo: comportamento da lagoa 1 quando esta tem a ligação de uma bomba no ano médio na situação da área que é regada pelo poço (13.361m<sup>2</sup>).

Analogamente ao ano médio, a lagoa 1 no ano chuvoso e ano seco também tem capacidade para suportar a rega para a área em estudo, sendo que no último a quantidade de águas disponível no mês de março é ligeiramente menor, conforme se consegue verificar na figura 80.



**Figura 80** - Comportamento da bomba 1 e da lagoa 1 num ano chuvoso Vs o comportamento da bomba 1 e da lagoa 1 num ano seco em situação da área que é regada pelo poço (13.361m<sup>2</sup>).

Neste sentido, pode-se concluir que, a lagoa 1 não tem capacidade para manter as necessidades hidrológicas referente à totalidade dos espaços verdes do Campus. Apesar das grandes quantidades de água que saem do sistema, a quantidade de água disponível na lagoa 1 durante os meses mais críticos (mais secos) não é suficiente para alimentar o sistema de rega. Assim, outras simulações foram realizadas com o intuito de perceber se é possível regar toda a área permeável do Campus utilizando, adicionalmente, outras duas lagoas: a lagoa ETAR e lagoa 2. No próximo ponto é possível perceber o comportamento de todas as lagoas existentes relativamente ao uso da sua água para rega dos jardins da UA.

#### 4.6. Análise de uma proposta de armazenamento para rega

De forma a colmatar a situação anterior, a sugestão seria aumentar o volume de armazenamento para as outras lagoas existentes no Campus – lagoa ETAR e lagoa 2. Estas duas novas lagoas iriam complementar a lagoa 1, tornando-as lagoas para aproveitamento de águas pluviais para usos exclusivo de rega. A figura seguinte é o projeto



criado no SWMM com todas estas modificações. É de notar que a situação proposta apenas é referente à situação de rega de toda a área permeável da Universidade.



**Figura 81** – Representação esquemática da proposta.

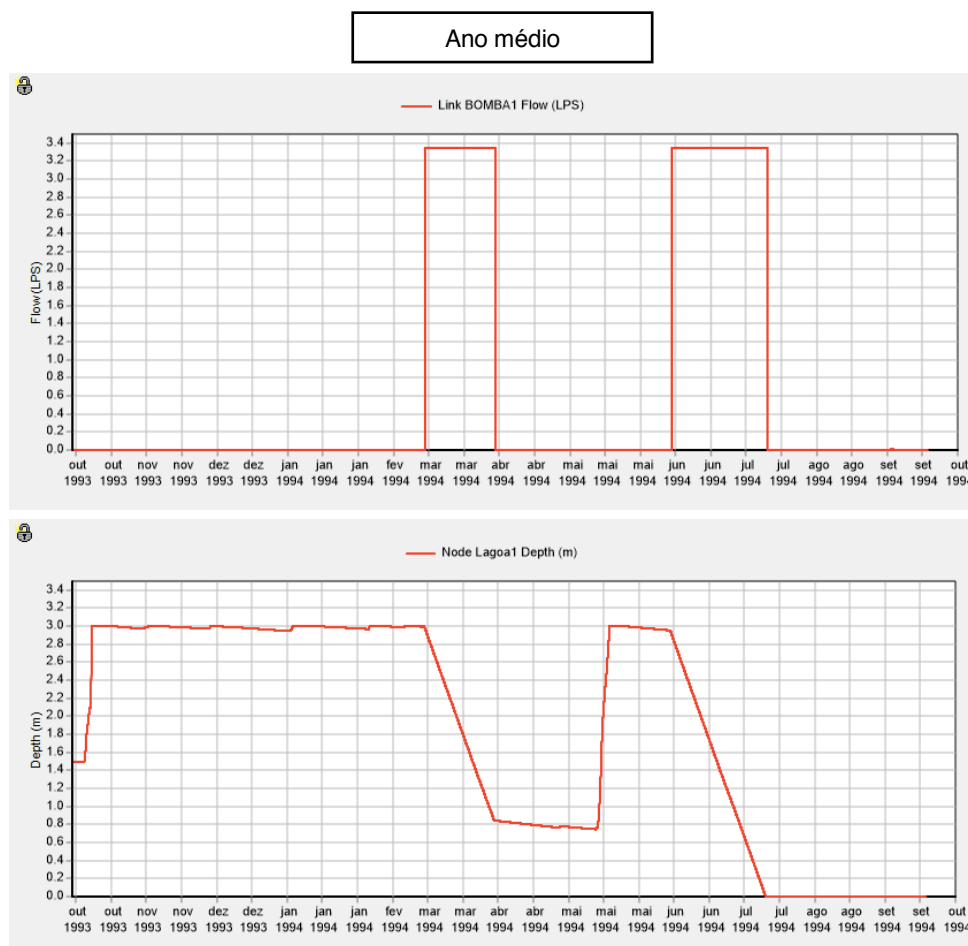
As modificações foram formuladas de forma a que todas as saídas do sistema tivessem uma ligação a uma das lagoas, fazendo com que o sistema se torne fechado e circular. Outra modificação recomenda é o corte da ligação entre as caixas de visita N06 e N23 (marcado a azul na figura 81). Nesta caixa de visita foi possível observar, em trabalho de campo, a existência de dois caminhos possíveis da água pluvial, ou seja, quando existe caudais elevados o caminho da água seria em direção à saída 3 e quando os caudais eram baixos iria em direção à saída da lagoa 1 (conforme descrito anteriormente na figura 58 do capítulo anterior). Assim sugere-se a interrupção da conduta relativa à saída para caudais baixos, ficando apenas a ligação para caudais elevados em direção à lagoa 2.

É importante referir que as lagoas têm dimensões reais das existentes no campus de forma a tornar a simulação mais real, estas dimensões encontram-se na tabela 13 do ponto 3.2.1.

Com o intuito de perceber o funcionamento das bombas e das lagoas após estas modificações, foram feitas, novamente, outras simulações no SWMM para cada ano hidrológico. A primeira é relativa ao ano hidrológico médio.

#### Ano médio:

Analisando novamente o comportamento da lagoa 1 após as modificações criadas, esta não tem um comportamento muito diferente e, portanto, até ao fim do mês de março, esta tem a capacidade necessária para alimentar o sistema de rega da Universidade para toda a área verde do Campus. A partir de junho, esta só tem capacidade de bombear água até próximo do fim do mês de julho. É de notar que, para este caso definiu-se que a bomba só arrancaria quando a lagoa tivesse na sua profundidade máxima, ou seja, 3 metros e quando a lagoa 1 atingisse a profundidade mínima de 1,5 metros, a bomba desligaria – figura 82.



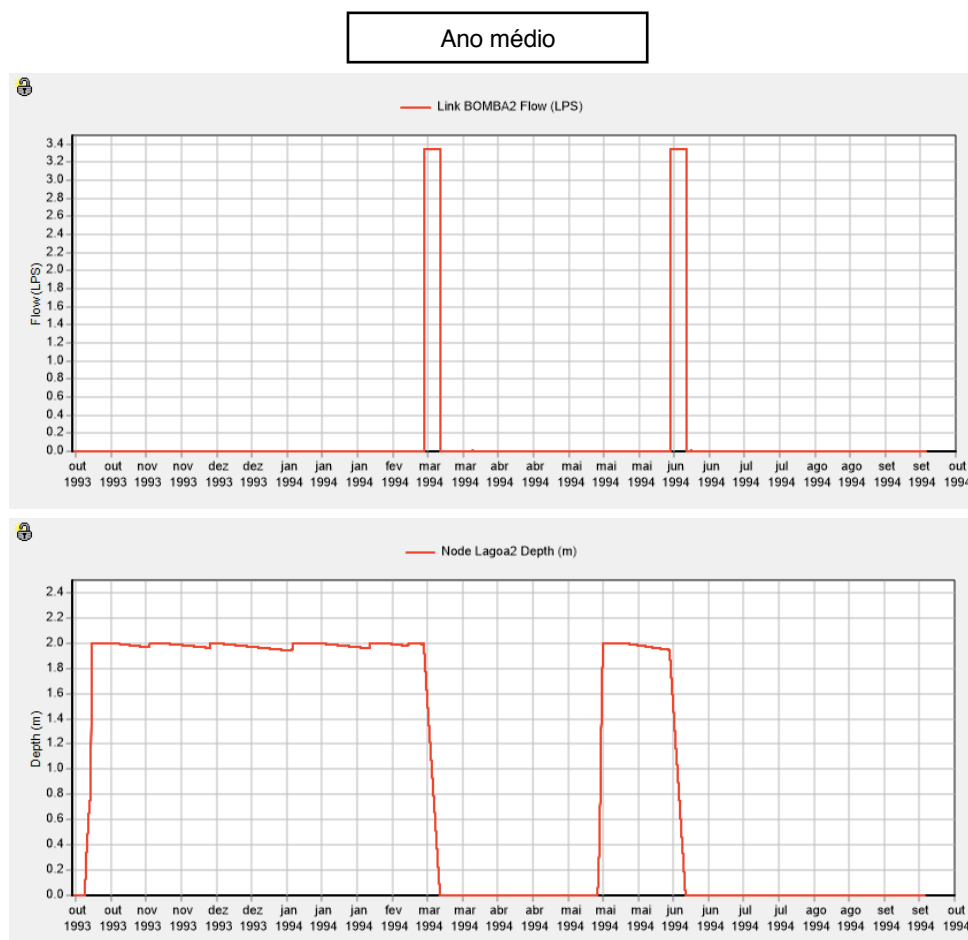
**Figura 82** - Comportamento da bomba 1 e da lagoa 1 durante um ano médio.

Relativamente à lagoa ETAR, esta tem capacidade para a bomba retirar água (a 3,35 LPS) durante todo o mês de março, contudo, apenas consegue ter água suficiente até ao fim de junho, não tendo a bomba capacidade para bombear nos meses seguintes. A condição de arranque da bomba foi definida com 1 metro de profundidade (altura máxima da lagoa ETAR) e a condição de paragem foi de 0 metros— figura 83.



**Figura 83** - Comportamento da bomba ETAR e da lagoa ETAR durante um ano médio.

A lagoa 2 não tem capacidade para bombear água durante todo o mês de março muito menos a partir de junho, durante os meses de verão, como é possível verificar nos gráficos a baixo. Isto deve-se ao facto de a lagoa ser pequena (2000 m<sup>3</sup>). É de notar, que também foi definida uma condição de arranque para bomba 2, que foi de 2 metros (altura máxima da lagoa 2) e uma condição de paragem de 0 metros – figura 84.



**Figura 84** - Comportamento da bomba 2 e da lagoa 2 durante um ano médio.

Adicionalmente a estas simulações, foram feitas outras (por tentativa-erro) de forma a discutir qual seria a área máxima que fosse possível regar 144.585 m<sup>2</sup> nos meses de março e de junho a setembro num ano médio. Chegou-se à conclusão, que para as três lagoas terem esta capacidade, a curva da bomba de cada uma delas terá de ser alterada conforme a tabela em baixo. É de notar que a bomba funciona de forma descontínua, ou seja, funciona apenas nos meses em que a precipitação é menor que a evaporação e apenas quando a lagoa atinge a altura máxima.

**Tabela 36** - Curva para bomba 1, bomba 2 e bomba ETAR relacionada com a área máxima possível para regar os espaços verdes da UA (ano médio).

Altura (m)	Escoamento (LPS)		
	Bomba 1	Bomba 2	Bomba ETAR
1	1,2	0.09	0,45
10	1,2	0.09	0,45

Através da curva da bomba é possível encontrar uma estimativa relativa à área máxima que é possível regar com a água disponível em cada lagoa (num ano médio) – tabela 37.

**Tabela 37** - Área máxima que é possível ser regada com a água armazenada em cada lagoa (ano médio).

Lagoas	Área máxima (m <sup>2</sup> )
Lagoa 1	51.791,64
Lagoa 2	3884,37
Lagoa ETAR	19.421,87

Portanto, a área máxima total que é possível regar num ano médio é de cerca de 75.097,88 m<sup>2</sup>, ou seja, apenas aproximadamente 52% da área total permeável do Campus da UA.

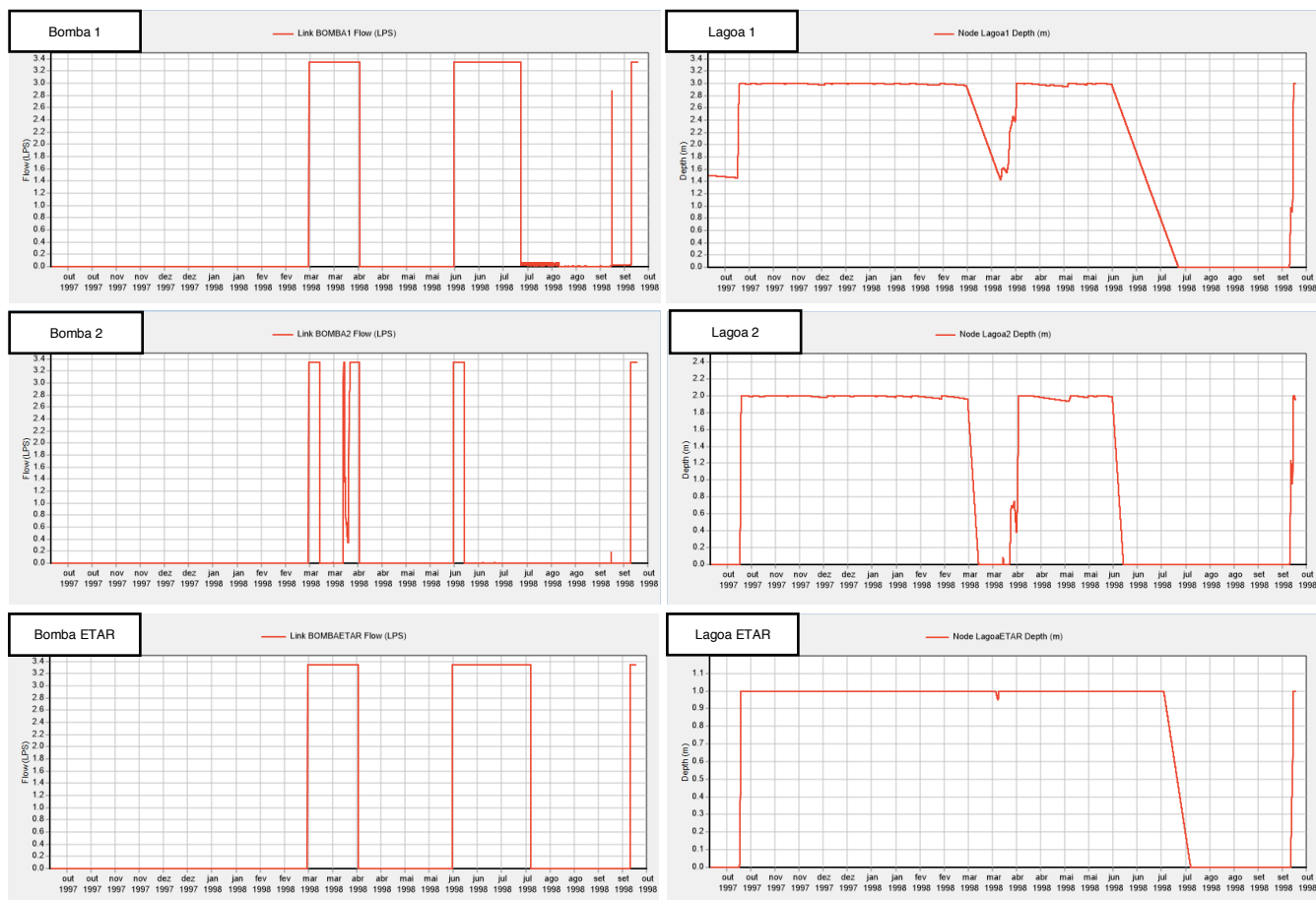
#### Ano chuvoso:

Relativamente ao ano mais chuvoso, a principal diferença para o ano médio é o facto de as 3 bombas conseguirem retirar água no mês de setembro e isto deve-se à série de precipitação criada, em que em setembro existem valores altos de precipitação.

Analisando a figura 83 é possível perceber que a bomba 1, tem capacidade para bombear água durante todo o mês de março. A partir do mês de junho consegue retirar água da lagoa 1 a 3,35 LPS até próximo do fim de julho, pois a lagoa a partir daí fica vazia. De igual forma ao ano médio, a lagoa 2 é das três lagoas existentes a que tem menos capacidade, pois é a que tem menor volume. No entanto, durante o mês de março, esta consegue bombear água da lagoa 2 de forma descontínua como é possível verificar nos gráficos em baixo.

A lagoa ETAR consegue alimentar o sistema de rega da UA até ao fim de março, fim de julho e ainda no início mês de setembro. A condição de arranque da bomba ETAR é, tal como nas outras, a profundidade máxima da lagoa ETAR, que neste caso é 1 metro – figura 85.

## Ano Chuvoso



**Figura 85** - Comportamento de todas as bombas e lagoas num ano chuvoso.

Analogamente ao ano médio também foi calculada a área máxima que é possível regar com a água disponível em cada lagoa para o ano chuvoso. Para isso, a curva da bomba das três lagoas terá de ser:

**Tabela 38** - Curva para bomba 1, bomba 2 e bomba ETAR relacionada com a área máxima possível para regar os espaços verdes da UA (ano chuvoso).

Altura (m)	Escoamento (LPS)		
	Bomba 1	Bomba 2	Bomba ETAR
1	1,4	0,1	0,5
10	1,4	0,1	0,5

Com os dados da tabela anterior, foi possível calcular a área máxima que é possível regar com a água disponível em cada lagoa num ano chuvoso – tabela 39.

**Tabela 39** - Área máxima que é possível ser regada com a água armazenada em cada lagoa (ano chuvoso).

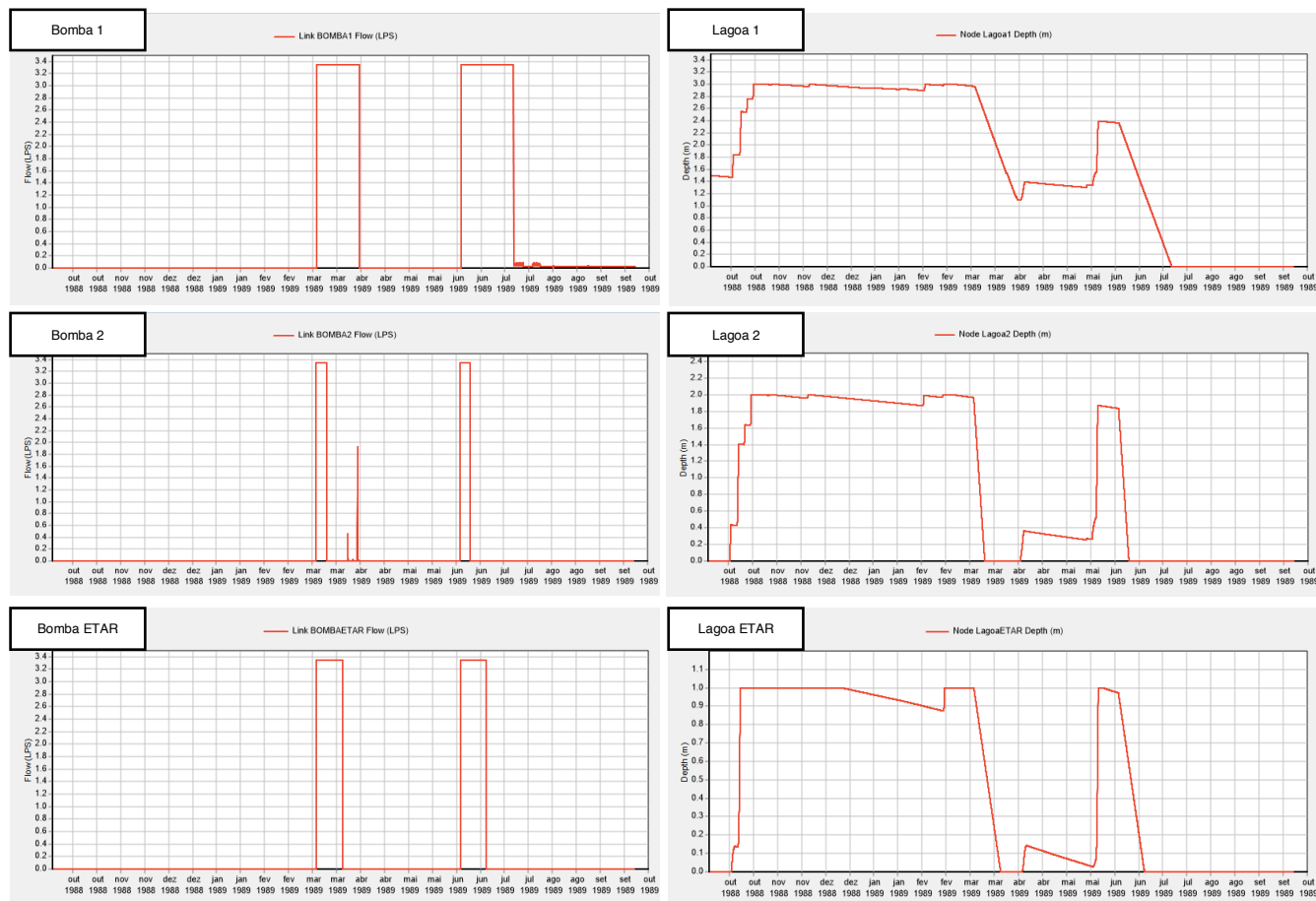
Lagoas	Área máxima (m <sup>2</sup> )
Lagoa 1	60.423,58
Lagoa 2	4315,97
Lagoa ETAR	21.579,85

Portanto, a área máxima total que é possível regar num ano chuvoso é de cerca de 86.319,40 m<sup>2</sup>, ou seja, apenas aproximadamente 60% da área total permeável do Campus da UA.

Ano seco:

No ano seco, a situação é um pouco mais critica, como seria de esperar. Conforme podemos verificar nos gráficos (figura 86) seguintes a quantidade de água que é possível bombear é muito menor nas três lagoas. A lagoa 2 é a que tem menos capacidade e a lagoa com mais capacidade para regadio é a lagoa 1.

## Ano Seco



**Figura 86 - Comportamento de todas as bombas e lagoas num ano sec.**

Por fim, também, foi essencial calcular a área máxima que é possível regar com a água disponível em cada lagoa no ano seco (de igual forma aos anos hidrológicos anteriores). Portanto, a curva da bomba definida nas três bombas está descrita na tabela seguinte.

**Tabela 40 - Curva para bomba 1, bomba 2 e bomba ETAR relacionada com a área máxima possível para regar os espaços verdes da UA (ano seco).**

Altura (m)	Escoamento (LPS)		
	Bomba 1	Bomba 2	Bomba ETAR
1	1	0,05	0,2
10	1	0,05	0,2

Com os dados da tabela anterior, foi possível calcular a área máxima que é possível regar com a água disponível em cada lagoa num ano seco – tabela 41.



**Tabela 41** - Área máxima que é possível ser regada com a água armazenada em cada lagoa (ano seco).

Lagoas	Área máxima (m <sup>2</sup> )
Lagoa 1	43.159,70
Lagoa 2	2157,99
Lagoa ETAR	8631,94

Portanto, a área máxima total que é possível regar num ano médio é de cerca de 53.949,63 m<sup>2</sup>, ou seja, apenas aproximadamente 37% da área total permeável do Campus da UA.

Resumidamente, para um ano médio, conclui-se que as três lagoas juntas, apenas conseguem regar apenas metade da área permeável do Campus. Como seria de esperar, num ano chuvoso as lagoas conseguem alcançar uma área de rega maior (cerca de 60%) e para o ano seco uma área de rega menor (cerca de 37%). Portanto, em nenhuma das três situações é possível regar a totalidade de área permeável do Campus de Santiago durante os meses necessários. No entanto é de realçar a importância de ser exequível regar pelo menos metade da área permeável total, pois assim é possível contribuir para a sustentabilidade hídrica do Campus.

Adicionalmente, é essencial não esquecer que os resultados das análises microbiológicas realizados à lagoa 1 apresentaram poluição fecal desta, isto é, apresenta valores microbiológicos superiores aos valores recomendados de qualidade de água destinada à rega. Neste sentido, é necessário que a água existente na lagoa 1, antes de ser utilizada para irrigação dos espaços verdes da UA, tenha um tratamento prévio. O ponto seguinte explica qual seria o tratamento mais aconselhável para ser aplicado na lagoa 1.

#### 4.6.1. Tratamento da lagoa 1

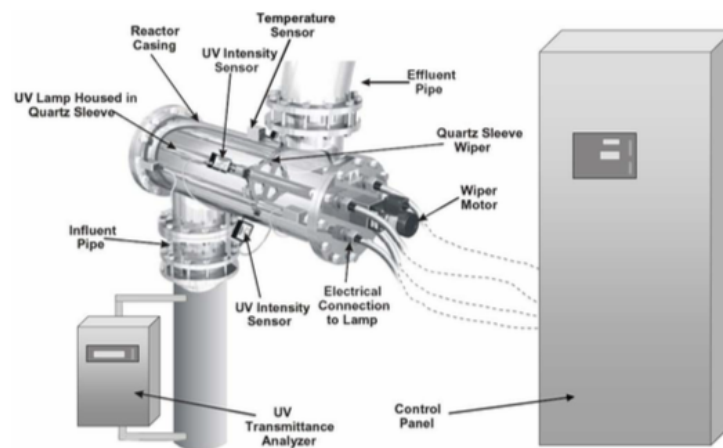
Como a lagoa 1 sofre de uma contaminação fecal, é necessário que esta tenha uma desinfecção, contudo como a sua água irá ser utilizada para rega, a desinfecção não poderá ser química.

Portanto, o sistema de desinfecção não química recomendada seria a radiação ultravioleta (UV), o uso deste tipo de desinfecção está a aumentar, pois este sistema de tratamento apresenta inúmeras vantagens, tais como:

- Tratamento eficaz contra qualquer tipo de microrganismos, incluindo os que são mais resistentes ao cloro;
- Não confere mau odor à água;
- Não influencia o pH;
- Totalmente automático;

- Baixos custos de instalação e manutenção;
- Respeito pelo meio ambiente, porque:
  - Contribui para a redução da necessidade de produtos químicos,
  - Não agrega produto químico à água, (tratamento físico);
  - Não forma subprodutos como é o caso da desinfecção por cloro (U.S. Environmental Protection Agency, 2011).

O princípio de funcionamento do tratamento por radiação ultravioleta baseia-se na absorção da radiação UV pelas células dos microrganismos, danificando desta forma o seu material genético dentro da célula de tal forma que os organismos não são mais capazes de crescer ou de se reproduzir. O dano ao material genético resulta principalmente da irradiação em comprimentos de onda dentro da região UV-C do espectro (200-280 nm) e é maximizado em torno do 254 nm (U.S. Environmental Protection Agency, 2011). A imagem seguinte é um esquema representativo do funcionamento e dos elementos que constituem a radiação UV.



**Figura 87** – Esquema representativo de um Sistema de tratamento por radiação UV (U.S. Environmental Protection Agency, 2011).

Este sistema de radiação UV poderia ser aplicado após a bomba que retira água da lagoa 1, tornando desta forma possível reutilizar a água pluvial armazenada na lagoa para usos de irrigação dos espaços verdes do Campus de Santiago, cumprindo os valores de emissão recomendados no decreto-lei nº 236/98.

## CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

---

A Universidade de Aveiro tem um sistema separativo, ou seja, duas redes de coletores diferentes – rede de coletores de águas residuais e outra rede de coletores de águas pluviais.

O objetivo deste projeto é o desenvolvimento de um modelo de gestão da rede de águas pluviais. Para alcançar este objetivo foi necessário realizar um diagnóstico da rede do Campus durante o trabalho de campo. Após isto foram criadas simulações relativas à rede de coletores de águas pluviais da área em estudo recorrendo ao SWMM.

Nas saídas de campo, corrigiram-se algumas situações que faltavam ou estavam incorretas no layout da rede de águas pluviais do Campus, como se corrigiu diâmetros através das dimensões e mediram-se alturas. Com estes dados foi possível criar simulações no SWMM.

Desta forma, foram realizadas 4 simulações distintas: uma simulação relativa a um evento de precipitação intensa com duração de 1 hora, outra relativa a um ano médio, outra a um ano seco e por fim uma simulação relativa a um ano chuvoso.

Na simulação de precipitação intensa, o objetivo foi perceber se existiam caixas de visita que sofriam de inundação e também se existiam coletores com falta de capacidade. Desta forma foi possível perceber que existiam 6 caixas de visita em situação de inundação e que muitas condutas não tinham a capacidade necessária para aguentar com um evento de precipitação intensa, havendo, assim inundações dos arruamentos circundantes. Esta situação pôde ser confirmada visualmente nessas zonas em períodos de chuva mais intensa. Esta situação pode ser corrigida com um aumento das tubagens das zonas mais críticas ou aplicação de mais medidas LID.

Na simulação de ano médio, seco e chuvoso o objetivo era perceber se a lagoa 1 existente no Campus teria capacidade de reutilização de águas pluviais para rega de todos os espaços verdes da Universidade. Neste ponto, foi possível entender que os meses em que seria necessária rega seriam os meses em que a precipitação é inferior à evaporação, ou seja, março, junho, julho, agosto e setembro.

Neste sentido, outra simulação foi necessária: uma com o uso de uma bomba para retirar a água da lagoa 1, na qual logo se entendeu que a água disponível nessa lagoa é suficiente para manter as necessidades hidrológicas da área que é regada pelo poço, no entanto não é suficiente para manter as necessidades hidrológicas de toda a área impermeável do caso em estudo. Desta forma, para colmatar esta situação sugeriu-se utilizar as outras duas lagoas existentes no campus (Lagoa ETAR e Lagoa 2) de forma a que toda a água que sai do sistema seja direcionada para todas as lagoas existentes, tornando a rede de águas pluviais um circuito fechado. No entanto, após estas simulações foi possível perceber que as três lagoas juntas, num ano médio, apenas têm capacidade para regar cerca de 52% da área total permeável do Campus. Num ano chuvoso, cerca de 60% da área permeável total e num ano seco, apenas conseguem regar 37%.

É de notar, que apesar de não ser possível regar toda a área permeável do Campus com a água pluvial armazenada nas três lagoas, a percentagem de área que é possível ser regada com as águas das lagoas já é um passo significativo para a sustentabilidade hídrica do Campus.

A resolução dos problemas de drenagem pluvial da Universidade de Aveiro passa pela criação de mais espaços verdes e aquáticos para absorver grandes quantidades de água antes de esta submergir nas ruas combatendo as inundações – tornando o Campus uma espécie de esponja de água (McCartney et al., 2018).

É de notar que durante este trabalho foram encontradas algumas dificuldades, principalmente nos trabalhos de campo, onde, alguma vezes não foi possível encontrar certas caixas de águas pluviais, ou outras situações de incoerência do layout fornecido que não batiam certo com a visualização em campo. Desta forma, foi necessária alguma persistência e perspicácia para descobrir ligações e caixas de águas pluviais que não estavam registadas.

Concluindo, com a realização deste projeto é possível entender que os SGTL necessitam de intervir nas condutas sem capacidade e nas caixas de visita em situação de alagamento de forma a tentar corrigir as situações de inundações existentes no Campus, bem como em todos os problemas que afetam o Campus ao nível da drenagem de águas pluviais. Além disto, seria necessário que, sempre que hajam alterações ou novas construções de edifícios, haver um acompanhamento dessas obras, para que más ligações das redes de águas pluviais com residuais não possam acontecer. Atualizar as informações relativas à rede de águas pluviais do Campus, bem como elaborar um plano de limpeza e manutenção frequente das condutas e respetivas caixas de águas pluviais e sargetas seria também uma grande ajuda para evitar inundações.

Trabalho futuro:

Além de tudo isto, e de forma a contribuir para a sustentabilidade hídrica do Campus de Santiago, a criação de um projeto técnico para a transformação da lagoa de águas residuais para uma lagoa de aproveitamento de águas pluviais, bem como a realização de um projeto com todas as alterações e propostas sugeridas seria interessante. Também, uma análise de custo/benefício e um estudo mais focado para a reutilização das águas pluviais para uso sanitário seria uma perspectiva para um trabalho futuro.

Outro aspeto que pode contribuir para complementar este estudo é a realização de mais análises, tanto químicas como microbiológicas, de forma a esclarecer a contaminação da lagoa 1 pelos cloretos, bem como tentar descobrir o ponto que leva à contaminação fecal da lagoa 1.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Agência Europeia do Ambiente, 2015. Sinais da AEA 2015 - Viver num clima de mudança. Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga.
- Almeida, M. do C., Vieira, P., Ribeiro, R., 2006. Uso eficiente da água. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Amaral, L.P.G., 2007. O saber tradicional na gestão sustentável da água. Universidade de Aveiro. (Dissertação)
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22.<sup>a</sup> ed. Washington DC.
- AquaVeo, 2018. Inlet Configurations [WWW Document]. URL [https://www.xmswiki.com/wiki/HY8:Inlet\\_Configurations](https://www.xmswiki.com/wiki/HY8:Inlet_Configurations)
- Araújo, G., 2011. Armazenamento de água da chuva para utilização local. Universidade de Aveiro. (Dissertação)
- ArcGis, 2018. ArcGIS 10.5 [WWW Document]. URL <http://www.esriportugal.pt/ArcGIS-10-5>
- Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas, 2013. Nitratos.
- Batista, A.C., 2008. Edifício auto-sustentável a nível energético e de águas. Universidade de Aveiro. (Dissertação)
- Batista, P., 2014. Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais para Utilizações Domésticas – Caso de Estudo. Universidade de Trás-os-Montos e Alto Douro. (Dissertação)
- Bertolo, E., 2006. Aproveitamento da água da chuva em edificações. Universidade do Porto. (Dissertação)
- Bichançã, M.D.F., 2006. Bacias de Retenção em Zonas Urbanas como Contributo para a Resolução de Situações Extremas: Cheias e Secas. Universidade do Porto. (Dissertação)
- Chang, N., Lu, J., Chui, T.F.M., Hartshorn, N., 2018. Global policy analysis of low impact development for stormwater management in urban regions. Land use policy 70, 368–383.
- Chesapeake Quarterly - A Magazine from Maryland Sea Grant, 2016. Big Greenscaping for a Big City [WWW Document]. URL <http://www.chesapeakequarterly.net/V15N1/main1/>
- CYPE Ingenieros, S.A., 2018. Gerador de preços para construção civil [WWW Document]. URL

[http://www.geradordeprecos.info/obra\\_nova/calculaprecio.asp?Valor=4%7C0%7C1%7CISB020%7Cisc\\_canalones-%3Ebajante:\\_0\\_1c15\\_0](http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=4%7C0%7C1%7CISB020%7Cisc_canalones-%3Ebajante:_0_1c15_0)

Diário da República, 1998. Decreto-lei nº236/98. Ministério do Ambiente, Portugal.

Diário da República, 1995. Decreto Regulamentar nº23/95. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Portugal.

Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, 2018. Uso eficiente da água [WWW Document]. URL <http://www.dgadr.gov.pt/rec/acao-7-5-uso-eficiente-da-agua>

Engineering Technology Series - Concrete & Masonry, 2015. Brick Construction [WWW Document]. URL <http://www.free-ed.net/free-ed/Resources/Trades/Construction/ConcreteMasonry/default.asp?uNum=1&iNum=0903>

Fernandes, M.E.P., 2010. Reutilização das Águas Pluviais. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. (Dissertação)

Ferreira, A.F.V., 2017. Diagnóstico da rede de águas pluviais nas bacias urbanas do setor poente de Aveiro (Santiago - Universidade). Universidade de Aveiro. (Dissertação)

Fórum da Casa, 2016. Soluções para telhados [WWW Document]. URL <https://forumdacasa.com/discussion/45130/ajuda-melhor-solucao-telhado/>

Google, 2018. Google Maps [WWW Document]. URL <https://www.google.com/maps/place/Universidade+de+Aveiro/@40.6303024,-8.6596947,567m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd23a2aa4e1bda2b:0xd70b976749475485!8m2!3d40.6303024!4d-8.657506>

Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2010. Normais Climatológicas [WWW Document]. URL <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/001/>

Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2000. Ficha Climatológica 1971-2000 (Aveiro).

Justino, B.S., 2016. Estudos e projetos de engenharia civil: hidráulica urbana e estruturas. Universidade de Aveiro. (Dissertação)

Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., Shaffer, P., Wallingford, H.R., Wallingford, H.R., 2007. The SuDS manual. CIRIA.

Lawson, S., LaBranche-Tucker, A., Otto-Wack, H., Rick Hall, B.S., Crawford, E., Crawford, D., Brand, C., 2009. Virginia Rainwater Harvesting Manual, 2nd ed. Cabell Brand Center.

Lecastre, A., Franco, M., 2010. Lições de Hidrologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Lima, P., 2012. Estratégias de rega de um campo de golfe – caso de estudo: Campo de Golfe Axis Ponte de Lima. (Dissertação)

Lourenço, R., 2009. Sistemas Urbanos de Drenagem. Instituto Politécnico de Coimbra. (Dissertação)



- Martins, F., 2010. Coberturas verdes: seu contributo para a eficiência energética e sustentabilidade. Universidade da Beira Interior. (Dissertação)
- Martins, S.H., 2012. Metodologias para a minimização da poluição por escorrências urbanas. Universidade do Minho. (Dissertação)
- Matos, J. de S., 2003. Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano. Número 16.
- McCartney, M., Amerasinghe, P., Ortinez, I., 2018. Fighting floods with «sponge cities» [WWW Document]. thrive Futur. our food, water Environ. URL <https://wle.cgiar.org/thrive/2018/02/07/fighting-floods-sponge-cities>
- Melo, F.M.O.J. de, 2012. Análise de Sustentabilidade de Técnica de Sistemas de Recolha de Águas Pluviais em Grandes Estruturas. Instituto Politécnico de Setúbal. (Dissertação)
- Melo, T. dos A.T., 2011. Jardim da chuva: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas. Universidade Federal de Pernambuco. (Dissertação)
- Ministério da Agricultura do Mar do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2012. Programa Nacional para o Uso Eficiente da água, Lisboa: Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Monteiro, J., 1997. Modelação do oxigénio dissolvido em rios. Instituto Superior Técnico. (Dissertação)
- Neponset River Watershed Association, 2018. Build a Rain Garden [WWW Document]. URL <https://www.neponset.org/archived-pages/rain-garden/> (acedido 1.29.18).
- Oliveira, F., Almeida, M. do C., Leitão, J., 2011. Aplicação para estudo do aproveitamento de águas pluviais em usos urbanos não potáveis 1–14.
- Quina Lé, B., 2012. Dimensionamento de Reservatórios Prediais de Água da Chuva. Universidade de Aveiro. (Dissertação)
- Rino, E.J.V., 2011. Sistemas Prediais de Drenagem de Águas Pluviais e Freáticas Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. (Dissertação)
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, 2018. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos [WWW Document]. URL <https://snirh.apambiente.pt/>
- Sousa, E.R. de, 2001. Projecto de sistemas de drenagem de águas residuais comunitárias.
- Sousa, J.P., 2014. Drenagem Urbana Sustentável e o Regime de Precipitação em Portugal. Universidade de Lisboa. (Dissertação)
- Tavares, C.A.S., 2013. Análise de consumos em edifícios com aproveitamento de águas pluviais. Universidade de Aveiro. (Dissertação)
- Téchne, 2012. Sistemas Construtivos - Pavimentos de concreto permeável [WWW

- Document]. URL <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/190/artigo288015-2.aspx>
- Terêncio, D.P.S., 2014. Estudo de Viabilidade de um Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais para fins não potáveis. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. (Dissertação)
- Tubani - Prefabricados de betão, 2010. Sarjetas [WWW Document]. URL [http://www.tubani.pt/VA0057RD/html/produtos\\_sarjetas.html](http://www.tubani.pt/VA0057RD/html/produtos_sarjetas.html)
- U.S. Environmental Protection Agency, 2011. Water Treatment Manual: Disinfection Environmental Protection Agency.
- U.S. Environmental Protection Agency, Rossman, L.A., Laboratory, N.R.M.R., Development, O. of R. and (Eds.), 2015. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. U.S. Environmental Protection Agency.
- United Nations Environment Programme, 2009. Rainwater harvesting: a lifeline for human well-being. Water 41, 69.
- United Nations Environment Programme, 2006. Examples of Rainwater Harvesting and Utilisation Around the World - An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management: An Introductory Guide for Decision-Makers [WWW Document]. URL <http://www.unep.or.jp/etc/Publications/Urban/UrbanEnv-2/9.asp>
- Universidade de Aveiro, 2014. Campus da UA [WWW Document]. URL <http://www.ua.pt/campusdaua>
- Vale, A.B.M.H. do, 2011. Qualidade de águas pluviais em meio urbano: Caso de estudo do parque de estacionamento do Instituto Superior Técnico. Instituto Superior Técnico. (Dissertação)
- Vesuviano, G.M., 2014. A Two-Stage Runoff Detention Model for a Green Roof.
- WebReforma, 2016. Telhado Verde [WWW Document]. URL <http://www.webreforma.com.br/dicas-interna.aspx?uid=187>
- xpdrainage, 2016. Stormwater Controls - SWC [WWW Document]. URL <https://help.xpsolutions.com/display/XDH2016v1/Stormwater+Controls+-+SWC>

## ANEXO I - Propriedades das sub-bacias

Sub-Bacia	Área total (m2)	Área total (ha)	Área impermeável (m2)	Área permeável (m2)	% impermeabilização	% permeabilização	Comprimento Overland Flow (m)	Largura (m)	Inclinação (%)
S01	1109	0.1109	1023	86	92%	8%	26.94	41.17	18.6%
S02	14272	1.4272	10220	4052	72%	28%	122.32	116.68	14.9%
S03	10566	1.0566	0	10566	0%	100%	278.17	37.98	2.0%
S04	4594	0.4594	3206	1388	70%	30%	185.10	24.82	14.6%
S05	4300	0.43	1991	2309	46%	54%	246.70	17.43	10.3%
S06	5359	0.5359	0	5359	0%	100%	207.24	25.86	2.0%
S07	13524	1.3524	8329	5195	62%	38%	313.22	43.18	1.4%
S08	8198	0.8198	5967	2231	73%	27%	207.77	39.46	15.1%
S09	5020	0.502	1846	3174	37%	63%	213.18	23.55	8.6%
S10	3649	0.3649	3369	280	92%	8%	156.58	23.30	18.6%
S11	6231	0.6231	1188	5043	19%	81%	204.56	30.46	5.4%
S12	3336	0.3336	3043	293	91%	9%	139.60	23.90	18.4%
S13	8399	0.8399	1148	7251	14%	86%	116.45	72.13	4.5%
S14	17466	1.7466	2798	14668	16%	84%	177.11	98.62	4.9%
S15	7419	0.7419	0	7419	0%	100%	92.27	80.41	2.0%
S16	4402	0.4402	4209	193	96%	4%	81.98	53.70	19.2%
S17	15429	1.5429	5847	9582	38%	62%	238.84	64.60	8.8%
S18	8637	0.8637	8218	419	95%	5%	112.49	76.78	19.1%
S19	10044	1.0044	7147	2897	71%	29%	128.71	78.04	14.8%
S20	19718	1.9718	16220	3498	82%	18%	193.15	102.09	16.8%
S21	10650	1.065	7204	3446	68%	32%	91.35	116.58	14.2%
S22	6599	0.6599	6599	0	100%	0%	142.29	46.38	20.0%
S23	5512	0.5512	3261	2251	59%	41%	120.78	45.64	12.6%
S24	4267	0.4267	4267	0	100%	0%	104.10	40.99	20.0%
S25	1383	0.1383	1123	260	81%	19%	54.97	25.16	16.6%
S26	4371	0.4371	1987	2384	45%	55%	108.23	40.39	10.2%
S27	3599	0.3599	2467	1132	69%	31%	120.19	29.94	14.3%
S28	3804	0.3804	2911	893	77%	23%	120.60	31.54	15.8%
S29	4359	0.4359	2957	1402	68%	32%	120.29	36.24	14.2%
S30	5451	0.5451	4070	1381	75%	25%	124.95	43.63	15.4%
S31	4433	0.4433	4433	0	100%	0%	80.65	54.97	20.0%
S32	7174	0.7174	5809	1365	81%	19%	89.86	79.84	16.6%
S33	10042	1.0042	6607	3435	66%	34%	115.49	86.96	13.8%
S34	1676	0.1676	1170	506	70%	30%	46.73	35.87	14.6%
S35	10196	1.0196	6400	3796	63%	37%	149.83	68.05	13.3%
S36	4384	0.4384	2850	1534	65%	35%	99.48	44.07	13.7%
S37	3976	0.3976	2677	1299	67%	33%	99.88	39.81	14.1%
S38	8810	0.881	7353	1457	83%	17%	108.60	81.12	17.0%
S39	2578	0.2578	2578	0	100%	0%	96.89	26.61	20.0%
S40	3671	0.3671	2860	811	78%	22%	99.80	36.78	16.0%
S41	3297	0.3297	2201	1096	67%	33%	98.55	33.46	14.0%
S42	5260	0.526	3639	1621	69%	31%	101.27	51.94	14.5%
S43	17396	1.7396	10689	6707	61%	39%	188.63	92.22	13.1%
S44	11855	1.1855	8986	2869	76%	24%	232.17	51.06	15.6%
S45	5241	0.5241	3857	1384	74%	26%	63.92	81.99	15.2%
S46	13919	1.3919	12086	1833	87%	13%	88.34	157.57	17.6%
S47	13451	1.3451	0	13451	0%	100%	142.36	94.49	2.0%
S48	14632	1.4632	2104	12528	14%	86%	157.55	92.88	4.6%

Sub-Bacia	Cota montante	Cota jusante	Diferença de cotas	Coef. Manning: áreas impermeáveis	Coef. Manning: áreas permeáveis	Dstore-imperv (mm)	Dstore-perv (mm)	%Zero-imperv	Curve Number
S01	5.94	5.89	0.05	0.019	0.05	2.54	5.08	0	95.75
S02	5.89	5.63	0.26	0.019	0.05	2.54	5.08	0	89.77
S03	3.658	1.474	2.184	0.019	0.05	2.54	5.08	0	69.00
S04	6.313	3.658	2.655	0.019	0.05	2.54	5.08	0	89.24
S05	6.899	3.658	3.241	0.019	0.05	2.54	5.08	0	82.43
S06	3.545	1.474	2.071	0.019	0.05	2.54	5.08	0	69.00
S07	1.772	0.93	0.842	0.019	0.05	2.54	5.08	0	86.86
S08	5.124	4.816	0.308	0.019	0.05	2.54	5.08	0	90.11
S09	2.999	0.93	2.069	0.019	0.05	2.54	5.08	0	79.66
S10	5.04	1.474	3.566	0.019	0.05	2.54	5.08	0	95.77
S11	5.594	0.403	5.191	0.019	0.05	2.54	5.08	0	74.53
S12	5.927	5.856	0.071	0.019	0.05	2.54	5.08	0	95.45
S13	2.404	1.473	0.931	0.019	0.05	2.54	5.08	0	72.96
S14	6.611	0.403	6.208	0.019	0.05	2.54	5.08	0	73.65
S15	1.473	1.473	0	0.019	0.05	2.54	5.08	0	69.00
S16	6.377	5.618	0.759	0.019	0.05	2.54	5.08	0	96.73
S17	6.6772	0.93	5.7472	0.019	0.05	2.54	5.08	0	79.99
S18	8.838	6.62	2.218	0.019	0.05	2.54	5.08	0	96.59
S19	8.163	4.385	3.778	0.019	0.05	2.54	5.08	0	89.64
S20	6.728	6.6772	0.0508	0.019	0.05	2.54	5.08	0	92.86
S21	8.766	7.992	0.774	0.019	0.05	2.54	5.08	0	88.62
S22	8.588	7.992	0.596	0.019	0.05	2.54	5.08	0	98.00
S23	8.876	8.335	0.541	0.019	0.05	2.54	5.08	0	86.16
S24	8.678	4.385	4.293	0.019	0.05	2.54	5.08	0	98.00
S25	9.006	4.385	4.621	0.019	0.05	2.54	5.08	0	92.55
S26	9.378	8.757	0.621	0.019	0.05	2.54	5.08	0	82.18
S27	8.602	4.385	4.217	0.019	0.05	2.54	5.08	0	88.88
S28	8.770	8.602	0.168	0.019	0.05	2.54	5.08	0	91.19
S29	8.757	4.385	4.372	0.019	0.05	2.54	5.08	0	88.67
S30	9.137	8.948	0.189	0.019	0.05	2.54	5.08	0	90.65
S31	8.826	4.385	4.441	0.019	0.05	2.54	5.08	0	98.00
S32	9.994	9.355	0.639	0.019	0.05	2.54	5.08	0	92.48
S33	9.423	9.352	0.071	0.019	0.05	2.54	5.08	0	88.08
S34	8.9	4.385	4.515	0.019	0.05	2.54	5.08	0	89.24
S35	8.802	8.77	0.032	0.019	0.05	2.54	5.08	0	87.20
S36	8.152	4.385	3.767	0.019	0.05	2.54	5.08	0	87.85
S37	8.234	8.043	0.191	0.019	0.05	2.54	5.08	0	88.53
S38	9.509	9.352	0.157	0.019	0.05	2.54	5.08	0	93.20
S39	8.114	4.385	3.729	0.019	0.05	2.54	5.08	0	98.00
S40	8.086	4.385	3.701	0.019	0.05	2.54	5.08	0	91.59
S41	8.086	4.385	3.701	0.019	0.05	2.54	5.08	0	88.36
S42	8.855	8.782	0.073	0.019	0.05	2.54	5.08	0	89.06
S43	5.9	4.385	1.515	0.019	0.05	2.54	5.08	0	86.82
S44	8.899	4.385	4.514	0.019	0.05	2.54	5.08	0	90.98
S45	5.646	4.385	1.261	0.019	0.05	2.54	5.08	0	90.34
S46	5.424	4.385	1.039	0.019	0.05	2.54	5.08	0	94.18
S47	4.385	3.861	0.524	0.019	0.05	2.54	5.08	0	69.00
S48	6.62	4.385	2.235	0.019	0.05	2.54	5.08	0	73.17

## ANEXO II - Propriedades das caixas de visita, orifícios e pontos de descarga

Caixa de Visita	Cota Tampo (m)	Altura (m)	Cota de Soleira (m)	Altura Inicial	Profundidade da Soleira	Área de alagamento (m2)	Surcharge Depth (m)
N01	6.15	6.15	0	0	6.15	87.39	0.08
N02	5.89	5.89	0	0	5.89	27.53	0.08
N03	1.474	2.09	-0.616	0	2.09	0	0.08
N04	3.658	2.66	0.998	0	2.66	111.5	0.08
N05	3.545	3.19	0.355	0	3.19	99.44	0.08
N06	3.452	1.67	1.782	0	1.67	0	0.08
N07	3.957	1.93	2.027	0	1.93	0	0.08
N08	6.259	2.55	3.709	0	2.55	197.92	0.08
N09	6.122	2.26	3.862	0	2.26	181.53	0.08
N10	6.611	2.44	4.171	0	2.44	241.47	0.08
N11	6.6772	1.97	4.7072	0	1.97	217.7	0.08
N12	6.9516	1.72	5.2316	0	1.72	196.93	0.08
N13	7.564	1.43	6.134	0	1.43	281.39	0.08
N14	7.761	1.24	6.521	0	1.24	361.58	0.08
N15	7.586	1.92	5.666	0	1.92	285.67	0.08
N16	7.743	1.7	6.043	0	1.7	149.1	0.08
N17	0.93	0.87	0.06	0	0.87	0	0.08
N18	1.772	1.4	0.372	0	1.4	0	0.08
N19	2.597	1.84	0.757	0	1.84	0	0.08
N20	2.891	2.25	0.641	0	2.25	125.43	0.08
N21	4.122	3.46	0.662	0	3.46	325.39	0.08
N22	4.122	3.7	0.422	0	3.7	250.21	0.08
N23	3.954	2.95	1.004	0	2.95	274.28	0.08
N24	8.466	1.97	6.496	0	1.97	76.36	0.08
N25	9.006	2.19	6.816	0	2.19	62.58	0.08
N26	8.862	2.16	6.702	0	2.16	173.4	0.08
N27	8.678	1.95	6.728	0	1.95	189.59	0.08
N28	8.335	1.75	6.585	0	1.75	116.08	0.08
N29	7.992	2.12	5.872	0	2.12	113.95	0.08
N30	7.728	1.93	5.798	0	1.93	168.23	0.08
N31	8.163	2.58	5.583	0	2.58	0	0.08
N32	8.881	3.59	5.291	0	3.59	0	0.08
N33	8.995	3.58	5.415	0	3.58	86.68	0.08
N34	8.899	3.65	5.249	0	3.65	141.9	0.08
N35	8.782	3.58	5.202	0	3.58	0	0.08
N36	8.454	4.41	4.044	0	4.41	0	0.08
N37	8.222	3.18	5.042	0	3.18	130.85	0.08
N38	7.79	3.37	4.42	0	3.37	208.5	0.08
N39	6.05	2.71	3.34	0	2.71	134.87	0.08
N40	5.9	2.78	3.12	0	2.78	139.53	0.08
N41	5.482	3.56	1.922	0	3.56	197.12	0.08
N42	4.385	3.46	0.925	0	3.46	0	0.08
N43	3.861	3.07	0.791	0	3.07	0	0.08
N44	6.62	6.62	0	0	6.62	0	0.08
N45	6.45	6.45	0	0	6.45	28.59	0.08
N46	6.005	6.005	0	0	6.005	37.92	0.08
N47	6.305	6.305	0	0	6.305	52.03	0.08
N48	6.373	6.373	0	0	6.373	74.84	0.08
N49	8.948	1.28	7.668	0	1.28	159.97	0.08
N50	8.757	1.73	7.027	0	1.73	225.08	0.08
N51	8.602	1.44	7.162	0	1.44	164.6	0.08
N52	8.399	1.98	6.419	0	1.98	124.92	0.08
N53	9.355	1.59	7.765	0	1.59	231.84	0.08

Caixa de Visita	Cota Tampo (m)	Altura (m)	Cota de Soleira (m)	Altura Inicial	Profundidade da Soleira	Área de alagamento (m2)	Surcharge Depth (m)		
N54	9.307	1.6	7.707	0	1.6	253	0.08		
N55	9.352	1.9	7.452	0	1.9	273.95	0.08		
N56	9.341	1.99	7.351	0	1.99	322.66	0.08		
N57	9.15	2.23	6.92	0	2.23	321.42	0.08		
N58	8.77	2.23	6.54	0	2.23	279.87	0.08		
N59	8.591	2.2	6.391	0	2.2	387.24	0.08		
N60	8.255	2.05	6.205	0	2.05	196.52	0.08		
N61	8.152	1.94	6.212	0	1.94	263.26	0.08		
N62	8.043	2.2	5.843	0	2.2	439.16	0.08		
N63	8.114	2.5	5.614	0	2.5	363.41	0.08		
N64	8.086	2.7	5.386	0	2.7	428.06	0.08		
N65	8.091	2.95	5.141	0	2.95	468.31	0.08		
N66	5.856	0.65	5.206	0	0.65	114.7	0.08		
N67	5.806	0.7	5.106	0	0.7	165.09	0.08		
N68	5.696	0.7	4.996	0	0.7	191.27	0.08		
N69	5.61	0.6	5.01	0	0.6	149.48	0.08		
N70	5.618	0.7	4.918	0	0.7	181.9	0.08		
N71	5.603	1.25	4.353	0	1.25	237.27	0.08		
N72	5.456	1.62	3.836	0	1.62	297.82	0.08		
N73	6.184	2.64	3.544	0	2.64	191.86	0.08		
N74	5.789	5.789	0	0	5.789	136.67	0.08		
N75	5.371	1.62	3.751	0	1.62	82.86	0.08		
N76	4.816	1.61	3.206	0	1.61	174.37	0.08		
N77	4.633	1.87	2.763	0	1.87	188.67	0.08		
N78	6.728	6.728	0	0	6.728	255.29	0.08		
N79	8.466	8.466	0	0	8.466	237.11	0.08		
N80	7.558	7.558	0	0	7.558	254.29	0.08		
N81	7.04	1.9	5.14	0	1.9	37.1	0.08		
N82	7.04	1.7	5.34	0	1.7	169.96	0.08		
N83	3.796	3.796	0	0	3.796	57.61	0.08		
N84	1.473	1.93	-0.457	0	1.93	0	0.08		
N85	6.649	6.649	0	0	6.649	126.63	0.08		
N86	6.899	6.899	0	0	6.899	213.55	0.08		
N87	4.664	4.664	0	0	4.664	361.32	0.08		
N88	2.404	1.473	0.931	0	1.473	0	0.08		
N89	8.826	8.683	0.143	0	8.683	531.75	0.08		
N90	8.947	8.947	0	0	8.947	0	0.08		
N91	5.646	5.602	0.044	0	5.602	117.61	0.08		
N92	5.497	5.497	0	0	5.497	182.5	0.08		
N93	8.766	8.766	0	0	8.766	39.76	0.08		
N94	8.222	8.222	0	0	8.222	242.5	0.08		
N95	9.509	9.509	0	0	9.509	459.53	0.08		
N96	2.999	2.999	0	0	2.999	0	0.08		
N97	9.521	9.521	0	0	9.521	114.24	0.08		
N98			1.1	0	0.5		0.08		
Pontos de descarga	Cota	Altura	Cota Soleira		Unidades de Armazenamento	Altura Máxima	Altura Inicial	Or de Evapora	Área
Saída Fonte da Pega	6.15	0.5	5.65		Lagoa 1	3	1.5	1	4108
Saída ETAR	1.473	1.55	-0.077		Lagoa 2	2	0	1	1000
Saída da Lagoa	3.861	1.02	2.991		Lagoa ETAR	1	0	1	5051
Saída Vão CMA	0.403	0.87	-0.467						

## ANEXO III - Propriedades dos coletores, orifícios e bombas

Coletor	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Inlet node	Outlet node	Inlet offset	Outlet offset	Max. Depth (m)	Coef. De perda entrada	Coef. De perda saída	Média dos coef.	Culverte code	Rugosidade	Flap Gate
C01	300	13.85	N01	Saída Fonte da Pega	6.15	0.51	0.3	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C02	300	26.63	N02	N01	5.89	6.15	0.3	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C03	315	10.43	N03	Saída Casa UA	1.09	1.56	0.315	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C04	315	123.2	N04	N03	2.66	1.09	0.315	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C05	315	21.23	N05	N04	3.19	3.66	0.315	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C06	315	32.72	N06	N05	2.4	3.19	0.315	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C07	500	27.03	N07	N06	1.93	2.37	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C08	500	60.23	N08	N07	2.55	1.83	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C09	600	45.11	N09	N08	2.26	2.55	0.6	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C10	600	62.93	N10	N09	2.44	2.13	0.6	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C11	500	29.92	N11	N10	1.97	2.3	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C12	500	52.54	N12	N11	1.72	1.98	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C13	400	106.27	N13	N12	1.43	1.72	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C14	400	54.19	N14	N13	1.24	1.43	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C15	400	19.99	N15	N14	1.92	1.24	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C16	500	32.09	N16	N15	1.7	1.92	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C17	500	59.93	N18	N17	1.4	0.87	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C18	500	39.6	N20	N19	2.25	1.84	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C19	500	35.82	N21	N20	3.46	2.2	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C20	500	33.35	N22	N21	3.7	3.5	0.6	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C21	500	35.13	N23	N22	2.95	3.47	0.6	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C22	500	23.18	N06	N23	2.4	3.05	0.6	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C23	500	32.2	N24	N25	1.97	2.19	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C24	500	28.67	N25	N26	2.19	2.16	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C25	500	32.21	N26	N27	2.16	1.95	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C26	500	65.03	N27	N28	1.95	1.75	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C27	500	58.18	N28	N29	1.75	2.12	0.6	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C28	500	28.37	N29	N30	2.12	1.92	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C29	300	55.39	N30	N31	1.93	2.57	0.3	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C30	500	34.88	N31	N32	2.58	3.59	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C31	500	14.17	N32	N33	3.59	3.58	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C32	500	25.82	N33	N34	3.58	3.65	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C33	315	17.95	N34	N35	3.65	3.57	0.315	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C34	500	42.23	N35	N36	3.58	3.4	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C35	500	33.39	N36	N37	4.41	3.18	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C36	500	22.25	N37	N38	3.18	3.27	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C37	500	51.72	N38	N39	3.37	2.7	0.7	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C38	500	52.53	N39	N40	2.71	2.77	0.7	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C39	500	57.83	N40	N41	2.78	3.55	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C40	500	60.28	N41	N42	3.56	3.45	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C41	500	7.66	N48	N47	6.373	6.305	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C42	500	24.9	N47	N46	6.305	6.005	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C43	500	29.31	N46	N45	6.005	6.45	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C44	500	30.45	N45	N44	6.45	6.62	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C45	500	129.11	N44	N43	6.62	3.07	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C46	350	36.06	N49	N50	1.28	1.72	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C47	400	35.37	N50	N51	1.73	1.44	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C48	500	10.03	N52	N28	1.98	1.75	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C49	250	28.57	N53	N54	1.59	1.6	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C50	250	34.91	N54	N55	1.6	1.9	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C51	300	42.3	N55	N56	1.9	1.99	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C52	350	47.59	N56	N57	1.99	2.23	0.35	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C53	350	52.53	N57	N58	2.23	2.22	0.35	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C54	400	34.95	N58	N59	2.23	2.19	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No

Coletor	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Inlet node	Outlet node	Inlet offset	Outlet offset	Max. Depth (m)	Coef. De perda entrada	Coef. De perda saída	Média dos coef.	Culverte code	Rugosidade	Flap Gate
C55	400	38.49	N59	N60	2.2	2.04	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C56	400	38.79	N60	N61	2.05	1.93	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C57	500	30.93	N61	N62	1.94	2.19	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C58	500	28.88	N62	N63	2.2	2.49	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C59	500	36.38	N63	N64	2.5	2.69	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C60	500	36.19	N64	N65	2.7	2.94	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C61	500	60.62	N65	N38	2.95	3.67	0.6	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C62	250	20.75	N66	N67	0.65	0.66	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C63	250	15.02	N67	N68	0.7	0.62	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C64	250	21.88	N68	N69	0.62	0.6	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C65	250	6.43	N69	N70	0.6	0.7	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C66	300	7.86	N70	N71	0.7	0.95	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C67	500	33.87	N71	N72	1.25	1.62	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C68	500	25.05	N72	N73	1.62	2.67	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C69	500	130.88	N73	N43	2.64	2.51	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C70	200	20.51	N74	N75	5.789	1.62	0.2	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C71	500	5	N98	Saída da Lagoa		1.02	0.5	0.2	1	0.6	9	0.07	No
C72	160	152	N83	N17	3.796	0.87	0.16	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C73	200	5.51	N75	N76	1.62	1.54	0.2	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C74	500	46.88	N19	N18	1.84	1.4	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C75	200	18.42	N76	N77	1.61	1.9	0.2	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C76	250	32.77	N77	N06	1.87	2.37	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C77	500	69.45	N42	Lagoa	3.46		0.7	0.2	1	0.6	3	0.013	Yes
C78	500	49.04	N43	Lagoa	3.07		0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	Yes
C79	500	62.26	N17	Saída Vale CMA	0.88	0.87	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C80	300	198.02	N78	N79	6.728	8.466	0.3	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C81	500	175.58	N79	N80	8.466	7.558	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C82	400	91.74	N80	N81	7.558	1.9	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C83	200	21.52	N81	N82	1.9	1.7	0.2	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C84	500	39.77	N82	N12	1.7	1.72	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C85	90	31.55	N84	N83	3.796	2.404	0.09	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C86	400	36.61	N51	N52	1.73	1.97	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C87	150	81.01	N85	N04	6.649	2.66	0.2	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C88	150	115.67	N86	N04	6.899	2.66	0.15	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C89	250	123.87	N87	N02	4.664	5.89	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C90	500	27.11	N88	N84	1.473	2.404	0.5	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C91	200	40.5	N89	N49	8.683	1.28	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C92	315	108.48	N90	N57	8.947	2.23	0.315	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C93	200	52.72	N91	N40	5.602	2.78	0.2	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C94	150	84.46	N92	N91	5.497	5.602	0.15	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C95	400	113	N93	N94	8.766	8.222	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C96	400	47.06	N94	N29	8.222	2.12	0.4	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C97	250	55.68	N95	N55	9.509	1.9	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C98	300	146.16	N96	N17	2.999	0.87	0.3	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C99	250	81.73	N97	N53	9.521	1.59	0.25	0.2	1	0.6	3	0.013	No
C101	500	27	N88	Lagoa1			0.5	0.2	1	0.6	4	0.013	Yes
Orifícios	Altura (mm)	Largura (m)	Bombas		Altura de Arranque (m)	Altura de Paragem (m)	Estado Inicial						
C100	0.2	0.2	Bomba 1		3	1.5	OFF						
			Bomba 2		2	0	OFF						
			Bomba ETAR		1	0	OFF						



## ANEXO IV – Qualidade das águas destinadas a rega: Decreto-lei nº236/98

## ANEXO XVI

## Qualidade das águas destinadas à rega

Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Alumínio (Al) .....	mg/l	5,0	20	Risco de improdutividade em solos com $pH < 5,5$ . Em solos com $pH > 7$ o risco de toxicidade é eliminado por precipitar o alumínio.
Arsénio (As) .....	mg/l	0,10	10	Toxicidade variável consoante as culturas, oscilando entre 12 mg/l para a ervado-sudão e 0,05 mg/l para o arroz.
Bário (Ba) .....	mg/l	1,0		
Berílio (Be) .....	mg/l	0,5	1,0	
Boro (B) .....	mg/l	0,3	3,75	Para solos de textura fina e em curtos períodos recomenda-se como concentração máxima 2 mg/l.
Cádmio (Cd) .....	mg/l	0,01	0,05	Tóxico para o feijoeiro, beterraba e nabo em concentrações da ordem dos 0,1 mg/l em soluções nutritivas. Recomenda-se limites mais restritivos, dado este não se acumular nas plantas e no solo, podendo prejudicar o ser humano.
Chumbo (Pb) .....	mg/l	5,0	20	As concentrações muito elevadas podem inibir o desenvolvimento celular das culturas.
Cloretos (Cl) .....	mg/l	70	–	Para a cultura do tabaco recomenda-se uma concentração inferior a 20 mg/l, não devendo exceder os 70 mg/l.
Cobalto (Co) .....	mg/l	0,05	10	Tóxico em soluções nutritivas para a cultura do tomate na ordem dos 0,1 mg/l. Tende a ser inativo em solos neutros ou alcalinos.
Cobre (Cu) .....	mg/l	0,20	5,0	Tóxico em soluções nutritivas com concentrações entre 0,1 mg/l e 1 mg/l para diversas culturas.
Crómio total (Cr) .....	mg/l	0,10	20	Por se desconhecer o seu efeito tóxico, recomendam-se limites mais restritivos.
Estanho (Sn) .....	mg/l	2,0		
Ferro (Fe) .....	mg/l	5,0		Não tóxico em solos bem arejados, mas pode contribuir para a acidificação do solo, tornando indisponível o fósforo e o molibdénio.
Flúor (F) .....	mg/l	1,0	15	Inativado em solos neutros e alcalinos.
Lítio (Li) .....	mg/l	2,5	5,8	Tolerado pela maioria das culturas em concentrações superiores a 5 mg/l; móvel no solo. Tóxico para os citrinos a baixas concentrações (<0,075 mg/l).

Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Manganés (Mn) .....	mg/l	0,20	10	Tóxico para um certo número de culturas desde algumas décimas até poucos mg/l, mas normalmente só em solos ácidos.
Molibdénio (Mo) .....	mg/l	0,005	0,05	Não é tóxico em concentrações normais. Em solos ricos em molibdénio livre as forragens podem no entanto ocasionar toxicidade nos animais.
Níquel (Ni) .....	mg/l	0,5	2,0	Tóxico para um certo número de culturas entre 0,5 mg/l e 1 mg/l; reduzida toxicidade para $pH$ neutro ou alcalino.
Nitratos ( $NO_3$ ) .....	mg/l	50		Concentrações elevadas podem afectar a produção e qualidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega.
Salinidade: CE .....	dS/m	1		Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo.
SD T .....	mg/l	640		
SAR ( <sup>1</sup> ) .....		8		Depende da salinidade da água, características do solo e do tipo de cultura a ser irrigada.
Selénio (Se) .....	mg/l	0,02	0,05	Tóxico para culturas em concentrações da ordem dos 0,025 mg/l. Em solos com um teor relativamente elevado em selénio absorvido as forragens podem ocasionar toxicidade nos animais.
Sólidos suspensos totais (SST) .....	mg/l	60		Concentrações elevadas poderão ocasionar colmatagem em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimentos nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão, bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos.
Sulfatos ( $SO_4$ ) .....	mg/l	575		
Vanádio (V) .....	mg/l	0,10	1,0	Tóxico para diversas culturas em concentrações relativamente baixas.
Zinco (Zn) .....	mg/l	2,0	10,0	Tóxico para diversas culturas numa gama ampla, toxicidade reduzida a $pH > 6$ e solos de textura fina ou de solos orgânicos.
$pH$ .....	Escala de Sorensen	6,5-8,4	4,5-9,0	
Coliformes fecais .....	/100 ml	100		
Ovos de parasitas intestinais	N/l		1	

(<sup>1</sup>) A relação de adsorção de sódio (SAR) é traduzida pela seguinte equação, onde as concentrações devem estar expressas em meq/l:  $SAR = Na/[(Ca + Mg)/2]^{1/2}$ .

## ANEXO V – Número do *Culvert code*

### Circular Concrete

- 1 Square edge with headwall
- 2 Groove end with headwall
- 3 Groove end projecting

### Circular Corrugated Metal Pipe

- 4 Headwall
- 5 Mitered to slope
- 6 Projecting

### Circular Pipe, Beveled Ring Entrance

- 7 45 deg. bevels
- 8 33.7 deg. bevels

### Rectangular Box; Flared Wingwalls

- 9 30-75 deg. wingwall flares
- 10 90 or 15 deg. wingwall flares
- 11 0 deg. wingwall flares (straight sides)

### Rectangular Box; Flared Wingwalls and Top Edge Bevel:

- 12 45 deg flare; 0.43D top edge bevel
- 13 18-33.7 deg. flare; 0.083D top edge bevel

### Rectangular Box, 90-deg Headwall, Chamfered / Beveled Inlet Edges

- 14 chamfered 3/4-in.
- 15 beveled 1/2-in/ft at 45 deg (1:1)
- 16 beveled 1-in/ft at 33.7 deg (1:1.5)

### Rectangular Box, Skewed Headwall, Chamfered / Beveled Inlet Edges

- 17 3/4" chamfered edge, 45 deg skewed headwall
- 18 3/4" chamfered edge, 30 deg skewed headwall
- 19 3/4" chamfered edge, 15 deg skewed headwall
- 20 45 deg beveled edge, 10-45 deg skewed headwall

### Rectangular Box, Non-offset Flared Wingwalls, 3/4" Chamfer at Top of Inlet

- 21 45 deg (1:1) wingwall flare
- 22 8.4 deg (3:1) wingwall flare
- 23 18.4 deg (3:1) wingwall flare, 30 deg inlet skew

### Rectangular Box, Offset Flared Wingwalls, Beveled Edge at Inlet Top

- 24 45 deg (1:1) flare, 0.042D top edge bevel
- 25 33.7 deg (1.5:1) flare, 0.083D top edge bevel
- 26 18.4 deg (3:1) flare, 0.083D top edge bevel

### Corrugated Metal Box

- 27 90 deg headwall
- 28 Thick wall projecting
- 29 Thin wall projecting

### Horizontal Ellipse Concrete

- 30 Square edge with headwall
- 31 Grooved end with headwall
- 32 Grooved end projecting

### Vertical Ellipse Concrete

- 33 Square edge with headwall
- 34 Grooved end with headwall
- 35 Grooved end projecting

### Pipe Arch, 18" Corner Radius, Corrugated Metal

- 36 90 deg headwall
- 37 Mitered to slope
- 38 Projecting

### Pipe Arch, 18" Corner Radius, Corrugated Metal

- 39 Projecting
- 40 No bevels
- 41 33.7 deg bevels

### Pipe Arch, 31" Corner Radius, Corrugated Metal

- 42 Projecting
- 43 No bevels
- 44 33.7 deg. bevels

### Arch, Corrugated Metal

- 45 90 deg headwall
- 46 Mitered to slope
- 47 Thin wall projecting

### Circular Culvert

- 48 Smooth tapered inlet throat
- 49 Rough tapered inlet throat

### Elliptical Inlet Face

- 50 Tapered inlet, beveled edges
- 51 Tapered inlet, square edges
- 52 Tapered inlet, thin edge projecting

### Rectangular

- 53 Tapered inlet throat

### Rectangular Concrete

- 54 Side tapered, less favorable edges
- 55 Side tapered, more favorable edges
- 56 Slope tapered, less favorable edges
- 57 Slope tapered, more favorable edges

## ANEXO VI – Ficha da normal climatológica de Aveiro



## FICHA CLIMATOLÓGICA

### 1971-2000

AVEIRO (102)

Lat: 40°38'N; Lon: 08°40'W; Alt: 5m

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
<b>Média da Temperatura Média diária (°C)</b>													
	10.2	11.3	13.2	14.0	16.1	18.7	20.1	20.2	19.3	16.7	13.7	11.5	15.4
<b>Média da Temperatura Máxima diária (°C)</b>													
	14.4	15.4	17.6	18.0	19.9	22.7	24.2	24.4	23.6	20.9	17.5	15.2	19.5
<b>Média da Temperatura Mínima diária (°C)</b>													
	5.9	7.3	8.9	10.1	12.3	14.8	16.0	16.1	15.0	12.5	9.9	7.9	11.4
<b>Maior valor da Temperatura Máxima diária (°C)</b>													
	21.5	25.0	28.0	32.5	33.5	36.5	39.0	38.0	34.0	34.0	26.0	24.0	39.0
<b>Data</b>	06/1999	26/1997	09/2000	29/1997	16/1992	14/1981	23/1993	31/1984	15/1992	01/1980	02/1981	02/1985	23/07/1993
<b>Menor valor da Temperatura Máxima diária (°C)</b>													
	5.0	5.5	8.8	11.0	12.8	15.5	17.7	19.5	17.0	13.6	11.0	9.0	5.0
<b>Data</b>	14/1987	15/1983	14/1984	07/1986	06/1985	03/1984	03/1982	24/1988	26/1992	15/1980	15/1996	08/1995	14/01/1987
<b>Maior valor da Temperatura Mínima diária (°C)</b>													
	14.5	15.0	16.0	18.0	23.0	22.8	23.0	20.5	20.6	20.0	19.0	17.0	23.0
<b>Data</b>	13/1993	15/1995	11/1981	06/1997	01/1997	19/1998	07/1993	04/1987	19/1987	07/1989	06/1985	03/1985	07/07/1993
<b>Menor valor da Temperatura Mínima diária (°C)</b>													
	-3.0	-2.5	0.0	1.5	5.5	8.5	11.4	10.0	8.5	3.5	1.0	-3.0	-3.0
<b>Data</b>	10/1985	20/1987	01/1993	09/1986	04/1982	03/1984	25/1981	27/1985	26/1984	17/1988	21/1985	22/1980	10/01/1985
<b>Número médio de dias com:</b>													
<b>Tx ≥ 30 °C</b>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	2.2	2.8	1.9	1.6	0.6	0.0	0.0	9.8
<b>Tx ≥ 25 °C</b>	0.0	0.1	1.3	1.4	2.4	5.7	9.1	9.1	7.6	4.1	0.2	0.0	41.0
<b>Tx ≥ 20 °C</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.7	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	1.7
<b>Tn ≤ 0 °C</b>	1.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.3
<small>Tx=Temperatura Máxima, Tn=Temperatura Mínima.</small>													
<b>Média da quantidade de Precipitação Total (mm)</b>													
	111.2	85.5	46.4	89.6	89.3	27.6	11.8	17.8	56.1	110.3	129.2	131.9	906.7
<b>Maior valor da quantidade de Precipitação Diária (mm)</b>													
	50.5	51.0	29.5	42.5	54.0	57.0	38.0	32.4	79.0	64.4	52.2	81.2	81.2
<b>Data</b>	05/1996	28/1991	25/1987	14/2000	12/1982	29/1988	04/1988	27/1997	28/1998	05/1994	07/1982	22/1997	22/12/1997
<b>Número médio de dias com:</b>													
<b>RR ≥ 0.1mm</b>	13.0	12.0	9.9	14.1	12.1	5.9	3.6	3.7	7.3	13.1	14.5	15.1	124.3
<b>RR ≥ 1mm</b>	11.4	10.0	6.8	11.5	10.3	4.3	2.1	2.4	5.4	10.3	11.8	12.6	98.9
<b>RR ≥ 10mm</b>	4.1	3.2	1.4	3.3	3.2	0.6	0.4	0.5	1.7	4.2	4.9	4.9	32.4
<small>RR=Quantidade de Precipitação Diária (09-09 UTC).</small>													
<b>Observações</b>													

Toda a informação incluída neste documento é propriedade exclusiva do IM, não podendo esta instituição responsabilizar-se pelos danos resultantes da sua interpretação e/ou utilização.

É exclusivamente concedido o direito de utilização privada, individual, pessoal e não transmissível do presente conteúdo, sendo expressamente interdita toda a apresentação e/ou reprodução, total ou parcial.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior  
Instituto de Meteorologia, I.P.

Rua C – Aeroporto de Lisboa  
1749-077 Lisboa – Portugal

Tel.: (351) 21 844 7000  
Fax: (351) 21 840 2370

e-mail: [informacoes@im.pt](mailto:informacoes@im.pt)  
URL: <http://www.im.pt>

12



## FICHA CLIMATOLÓGICA

### 1971-2000

AVEIRO (102)

Lat.: 40°38'N; Lon.: 08°40'W; Alt.: 5m

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
<b>Insolação (horas)</b>													
	130.9	128.8	205.4	210.1	234.9	253.5	263.6	254.6	203.3	172.3	122.4	114.8	2294.6
<b>Número médio de dias com Insolação:</b>													
≥ 0%	4.0	2.8	1.2	0.9	0.9	0.6	0.7	0.4	1.0	1.7	3.6	5.4	23.2
≤ 20%	9.8	8.6	5.5	5.2	4.7	3.2	3.1	1.9	3.8	6.8	10.2	12.8	75.6
≥ 80%	5.1	5.9	9.0	6.1	6.9	9.8	11.3	10.1	5.6	5.6	3.8	2.5	81.7
<b>Evaporação (mm)</b>													
	58.6	60.8	87.6	89.5	84.8	86.3	84.9	82.1	75.9	68.3	55.0	59.1	892.9
Evaporímetro de Piche; observação das 09 às 09h UTC.													
<b>Humidade Relativa média do ar (%) às 09h UTC</b>													
	82	81	76	76	77	77	79	80	81	81	83	83	80
<b>Velocidade média do Vento (km/h)</b>													
	8.4	9.3	10.5	12.0	11.8	11.4	11.1	10.4	9.2	8.4	8.2	9.1	10.0
<b>Velocidade média do Vento Máximo em 10 minutos (km/h)</b>													
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Maior valor da Velocidade Máxima Instantânea do Vento (rajada) (km/h)</b>													
	32.1	39.6	38.4	46.6	38.8	39.1	32.0	26.2	35.5	32.6	54.1	61.7	61.7
<b>Data</b>	18/1985	26/1989	30/1981	13/1998	07/1987	05/1987	03/1991	21/1988	16/1989	25/1983	16/1996	21/1996	21/12/1996
<b>Número médio de dias com Velocidade Máxima Instantânea do Vento (rajada):</b>													
≥ 60 km/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
≥ 80 km/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Número médio de dias com:</b>													
Trovoada	0.4	0.1	0.4	0.8	0.8	0.9	0.2	0.4	0.4	0.7	0.6	0.8	6.5
Granizo	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7
Neve	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nevoeiro	3.2	2.8	3.8	1.5	2.8	2.8	6.3	6.3	5.5	4.1	1.7	3.4	44.2
Geadas	4.5	1.7	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.7	9.5

#### Observações

Estação meteorológica com dados entre 1981-2000.

Esta estação meteorológica não tem dados relativos à Velocidade média do Vento Máximo.

Para o parâmetro Insolação apenas tem dados nos anos: 1981-1982, 1984-1985, 1987-1988, 1990-1991.

Toda a informação incluída neste documento é propriedade exclusiva do IM, não podendo esta instituição responsabilizar-se pelos danos resultantes da sua interpretação e/ou utilização.

É exclusivamente concedido o direito de utilização privada, individual, pessoal e não transmissível do presente conteúdo, sendo expressamente interdita toda a apresentação e/ou reprodução, total ou parcial.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior  
Instituto de Meteorologia, I. P.

Rua C - Aeroporto de Lisboa  
1749-077 Lisboa - Portugal

Tel.: (351) 21 844 7000  
Fax: (351) 21 840 2370

e-mail: [informacao@imcteo.pt](mailto:informacao@imcteo.pt)  
URL: <http://www.imcteo.pt>

22